

# **FIABILIDADE DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA**

**ARMÉNIO MANUEL DA SILVA MIRANDA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA**

---

Orientador: Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins

---

Co-Orientadora: Engenheira Fernanda da Conceição de Abreu  
Lacerda

SETEMBRO DE 2010

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Ao Amor da minha vida Susana Liquito Quintas e aos meus Pais e Irmãos

*Don't give up the fight (..) Cause there's no one like you (..) In the universe (..) Together we're  
invincible*

*Muse*





## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta dissertação que marca o fim da efeméride pela *mui* Nobre FEUP, não seria possível sem a participação directa ou indirecta de várias pessoas. Expresso assim a minha palavra de agradecimento a todas elas e em particular:

Ao Amor da minha vida Susana Liquito Quintas.

À minha família, Pais e irmãos, por sempre me terem apoiado no decorrer da minha formação humana e académica.

Ao Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins, orientador científico desta dissertação, pela oportunidade dada e apoio prestado durante a execução deste trabalho.

Ao Professor Rui Malheiro pela revisão integral do vocabulário e à Engenheira Fernanda Lacerda pela revisão técnico-científica da dissertação.

Aos colegas da faculdade em especial ao Fábio Pereira, Nuno Martins, Miguel Araújo, Miguel Neno, Luís Cardoso e Fernando Sousa tendo sempre contribuído para um ambiente de trabalho produtivo academicamente e simultaneamente descontraído.

Aos meus fiéis companheiros do apartamento 22, Pedro Rego, Miguel Rego, Rui Rego, Tiago Barbosa e Luís Bandeira, com quem foram vividos momentos inesquecíveis e onde soubemos sempre manter um ambiente de amizade, descontração e respeito.

Às meninas das ribeiras, Rita Cunha, Inês Alves, Isabel Azevedo e Cristina Teiga, e à Teresa Freitas e Adelaide Gouveia que tiveram que me aturar ao longo destes seis meses de realização da dissertação.

Aos muitos outros que ficaram por contemplar mas não são menos importantes.



## RESUMO

A presente dissertação tem como objectivos formular metodologias para o cálculo do Indicador de Qualidade de Serviço 13 (inserido no sistema de indicadores de desempenho da *International Water Association* para definir a fiabilidade do sistema de abastecimento de água) e expor a importância da colocação criteriosa e manutenção adequada das válvulas na rede de abastecimento de água, relacionando com a satisfação dos clientes *versus* fiabilidade do sistema de abastecimento de água.

A fiabilidade pode ser caracterizada por parâmetros hidráulicos, mas a sua complexidade matemática e a indispensabilidade de avaliar redes de abastecimento água instaladas/projectadas levaram vários autores a formularem uma série de indicadores de cálculo expedito compostos por variáveis da exploração. A parcela da variável D35 do QS13 que corresponde ao número de clientes afectados por uma interrupção de abastecimento é de determinação extremamente complexa. Para determina-lo com exactidão é necessário registar as válvulas que foram fechadas para a execução de cada reparação. Um dos aspectos relevantes desta análise é a constatação da lacuna operacional da falta do levantamento cadastral no terreno por parte das equipas destacadas para as reparações. A integração de novas tecnologias, como por exemplo, telemetria e equipamentos portáteis com sistemas de informação geográfica para as equipas de reparação, permitem eficiência da gestão de recursos, controlo activo de perdas e aumento da satisfação do cliente.

Através do *Strategic Valve Management Model* mostrou-se os benefícios da implementação deste tipo de modelos numa empresa gestora de um sistema de abastecimento de água, para que esta possa identificar quais as zonas da sua rede de abastecimento de água que mais carecem de fiabilidade. Corrobora-se a complexidade de uma análise de fiabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema de abastecimento de água, rede de abastecimento de água, indicadores de desempenho, recolha de dados, válvulas



## ABSTRACT

The aims of this dissertation are to formulate calculation methods of the Indicator of the Service Quality 13 (inserted in the system of performance indicators of the International Water Association to define the water supply system reliability) and to expose the importance of the criteria used and the proper management of the valves in the water supply network, related to the satisfaction of the public users *versus* the reliability of the water supply system.

The reliability can be characterized by hydraulic parameters but its mathematical complexity and the necessity to examine the water supply networks that is already set or projected led some authors to establish some indicators of the expeditious calculation that depends only on the information given by the water supply system manager. The share of the variable D35 of the QS13 that corresponds to the number of customers affected by an interruption of supply is extremely difficult to determine. To determine them we must register the valves were closed for all the repairs. An important aspect of this analysis was the observation of the operating gap of lack of cadastral survey in the field by the teams deployed to the repairs. It was tried to implement a temporary solution to repair teams distributing a cadastral survey in paper form accompanied by a detailed data collection. The integration of new technologies, for example, telemetry and portable equipment with a geographical information system for the repair teams allowing efficient management of resources, monitoring the asset losses and increasing of customer satisfaction.

Through the Strategic Management Model Valve it was shown the benefits of implementing this type of models in a company managing a water supply system, allowing it to identify which areas of its network are in critical need of assurance. Endorses the complexity of reliability analysis.

**KEYWORDS:** water supply system, water supply network, performance indicators, data collection, valves.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
 <b>1. Introdução</b> .....	 1
1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
 <b>2. Sistema público de abastecimento de água</b> .....	 5
2.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	5
2.1.1. CAPTAÇÃO DE ÁGUA .....	5
2.1.1.1. CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS .....	6
2.1.1.2. CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS .....	9
2.1.1.3. VISÃO GERAL .....	10
2.1.2. SISTEMA ADUTOR E ELEVATÓRIO .....	10
2.1.3. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA .....	13
2.1.4. RESUMO DO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	14
2.2. O EXEMPLO DO PORTO – CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA .....	15
2.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA COMPONENTE EM ALTA .....	16
2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DA COMPONENTE EM BAIXA .....	19
2.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SERVIÇO PRESTADO PELA EMPRESA GESTORA DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	19
2.3.1. AA01 - COBERTURA DO SERVIÇO .....	21
2.3.2. AA02 - PREÇO MÉDIO DO SERVIÇO .....	21
2.3.3. AA03 – FALHAS NO ABASTECIMENTO .....	22
2.3.4. AA04 – ANÁLISES DE ÁGUA REALIZADAS .....	22
2.3.5. AA05 – QUALIDADE DA ÁGUA FORNECIDA .....	22
2.3.6. AA06 – RESPOSTA A RECLAMAÇÕES ESCRITAS .....	22
2.3.7. AA07 - RÁCIO DE COBERTURA DOS CUSTOS OPERACIONAIS .....	23
2.3.8. AA08 – CUSTOS OPERACIONAIS UNITÁRIOS .....	23
2.3.9. AA09 – RÁCIO DE SOLVABILIDADE .....	23

2.3.10. AA10 – ÁGUA NÃO FACTURADA .....	24
2.3.11. AA13 – CAPACIDADE DE RESERVA DE ÁGUA TRATADA.....	24
2.3.12. AA14 – REABILITAÇÃO DE CONDUTAS .....	24
2.3.13. AA15 – REABILITAÇÃO DE RAMAIS .....	25
2.3.14. AA16 – AVARIAS EM CONDUTAS .....	25
2.3.15. AA17 – RECURSOS HUMANOS .....	25
2.3.16. AA18 – INEFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	25
2.3.17. AA19 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS .....	26
2.3.18. CONCLUSÕES .....	26

### **3. Pesquisa bibliográfica .....**

**27**

#### **3.1. NOÇÕES DE FIABILIDADE .....**

**27**

##### 3.1.1. DEFINIÇÃO DE FIABILIDADE DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....

**27**

##### 3.1.2. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA FIABILIDADE POR MODELAÇÃO HIDRÁULICA .....

**28**

###### 3.1.2.1. MODELO HOMOGÉNEO DE POISSON.....

**30**

###### 3.1.2.2. ÂMBITO DOS ESTUDOS DA FIABILIDADE .....

**31**

#### **3.2. INDICADORES DE DESEMPENHO PARA AVALIAR A EXPLORAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....**

**32**

##### 3.2.1. CONSIDERAÇÕES PARA LIMITES ADMISSÍVEIS DAS VARIÁVEIS DO QS13 .....

**36**

#### **3.3. COLOCAÇÃO DE VÁLVULAS NA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....**

**37**

##### 3.3.1. IMPACTO DA AVARIA DE VÁLVULAS NA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....

**38**

#### **3.4. INDICADORES DE DECISÃO NA REFORMULAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ....**

**44**

#### **3.5. CONCLUSÕES DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....**

**45**

### **4. Âmbito e objectivos .....**

**47**

#### **4.1. ÂMBITO .....**

**47**

#### **4.2. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO .....**

**47**

### **5. Metodologia de cálculo do QS13 .....**

**49**

#### **5.1. METODOLOGIA PROPOSTA PARA O CÁLCULO DO QS13: REGISTO DOS DADOS A CADA ROTURA.....**

**49**

#### **5.2. METODOLOGIA ALTERNATIVA PROPOSTA PARA O CÁLCULO DO QS13: RECURSO A LEITURA DE CONTADORES COM TELEMETRIA .....**

**55**



<b>6. Análise de um subsistema da rede de abastecimento de água da área metropolitana do Porto: Rua Paulo da Gama e sua envolvente</b>	57
6.1. INTRODUÇÃO	57
6.2. REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INSTALADA NA RUA PAULO DA GAMA E SUA ENVOLVENTE	58
6.2.1. ANÁLISE DAS SECÇÕES	59
6.2.2. INDICADORES	64
6.2.3. ANÁLISE PROBABILÍSTICA	64
6.2.4. CONCLUSÕES	70
6.3. REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PROJECTADA PARA SUBSTITUIR A REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INSTALADA	70
6.3.1. ANÁLISE DAS SECÇÕES	71
6.3.2. INDICADORES	81
6.3.3. ANÁLISE PROBABILÍSTICA	82
6.3.4. CONCLUSÕES	86
6.4. REGISTO DE RECLAMAÇÕES DA RUA PAULO DA GAMA E SUA ENVOLVENTE NOS ANOS DE 2007, 2008 E 2009	87
6.4.1 REGISTO DE RECLAMAÇÕES DE 2007	87
6.4.2 REGISTO DE RECLAMAÇÕES DE 2008	89
6.4.3 REGISTO DE RECLAMAÇÕES DE 2009	90
6.4.4 DADOS REGISTADOS NECESSÁRIOS PARA CALCULAR O QS13	92
6.4.5 ISOLAMENTO DAS SECÇÕES NA RUA PAULO DA GAMA E SUA ENVOLVENTE	97
6.4.6 CONCLUSÕES	98
6.5. ANÁLISE ECONÓMICA DA REDE DE ABASTECIMENTO <i>VERSUS</i> VÁLVULAS	98
6.5.1 CUSTO PARA MANUTENÇÃO DA FIABILIDADE DAS VÁLVULAS	98
6.5.2 CUSTOS DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INSTALADA E DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA A INSTALAR	101
<b>7. Considerações finais</b>	105
7.1. CONCLUSÕES	105
7.2. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	106
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	109

<b>ANEXOS.....</b>	<b>113</b>
--------------------	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Barragem de Corte Brique ( <a href="http://cnpqgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/images/Corte_Brique5.jpg">http://cnpqgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/images/Corte_Brique5.jpg</a> 01/06/2010).....	7
Fig.2 – Exemplo de uma captação em poço húmido (Tomás, M. T. 2002) .....	7
Fig.3 – Exemplo de uma captação mista poço-torre (Tomás, M. T. 2002).....	7
Fig.4 – Exemplo de uma captação flutuante (Tomás, M. T. 2002) .....	8
Fig.5 – Tomada directa por tubo perfurado (Costa, M. 2004).....	9
Fig.6 – Exemplo de um poço com drenos radiais .....	9
Fig.7 – Esquema de um sistema adutor (Marques, J. e Sousa, J. 2008).....	10
Fig.8 – Traçado em perfil tipo de uma conduta adutora (Marques, J. e Sousa, J. 2008).....	12
Fig.9 – Exemplo de Adutora gravítica (Marques, J. e Sousa, J. 2008).....	12
Fig.10 – Exemplo de um sistema elevatório (Marques, J. e Sousa, J. 2008).....	13
Fig.11 – Esquema de um modelo de um sistema público de abastecimento de água (Alegre, H. et al 2004) .....	14
Fig.12– Organograma da Águas do Porto, EEM .....	16
Fig.13 – Esquema da captação de Crestuma-Lever (Alves, J. F. 2005).....	17
Fig.14– Esquema dos reservatórios abastecedores da cidade do Porto (Lacerda, F. 2010).....	17
Fig.15 – Esquema adutor da região do Douro e Cávado (Alves, J. F. 2005).....	18
Fig.15.1 – Esquema adutor da região do Douro e Cávado (legenda) (Alves, J. F. 2005).....	18
Fig.16 – Pontos de ligação à rede de distribuição da cidade do Porto (Lacerda, F. 2010).....	19
Fig.17 – Esquema de uma RAA exemplo .....	39
Fig.18 – Esquema das Secções isoláveis da RAA exemplo .....	39
Fig.19 – Exemplo de um Nó-Secção .....	40
Fig.20 – Exemplo de uma conduta conectora.....	43
Fig.21 – Exemplo de uma conduta conectora emalhada.....	43
Fig.22 – Exemplo de informação mínima a possuir no levantamento cadastral de uma EG de um SAA de distribuição .....	50
Fig.23 – Registo de reclamações existente na Águas do Porto, EEM (software chamado Multi).....	50
Fig.24 – Secção “Controlo” do registo de reclamações.....	51
Fig.25 – Metodologia de recolha de dados para o cálculo do QS13 .....	51
Fig.26 – Implantação da Rua Paulo da Gama e sua envolvente.....	57
Fig.27 – Válvulas adicionais admitidas na modelação .....	58
Fig.28 – Nós que compõe a RAA instalada .....	59

Fig.29 – Conduatas que compõe a RAA instalada .....	59
Fig.30 – Índice de importância das válvulas instaladas na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	62
Fig.31 – Conduata T32 para análise de sensibilidade .....	67
Fig.32 – Nós que compõe a RAA projectada .....	71
Fig.33 – Conduatas que compõe a RAA projectada .....	71
Fig.34 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (1 de 4) .....	76
Fig.35 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (2 de 4) .....	76
Fig.36 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (3 de 4) .....	76
Fig.37 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (4 de 4) .....	77
Fig.38 – Secções isoladas na Rua Paulo da Gama e sua envolvente nos anos 2007, 2008 e 2009 ..	98
Fig.39 – Evolução do custo total anual do plano de manutenção de válvulas hipotético .....	100
Fig.40 – Configuração típica de uma válvula (Saint-Gobain 2009) .....	101
 Fig.A.1 – Localização da Rua Paulo da Gama e sua envolvente e da sede da Águas do Porto, EEM .....	 115
Fig.A.2 – Ruas da envolvente da Rua Paulo da Gama (Rua Paulo da Gama inclusive) .....	115
Fig.B.1 – Conduatas instaladas na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	117
Fig.B.2 – Nós de intersecção das conduatas na Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	117
Fig.B.3 – Secções existentes na Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	118
Fig.B.4 – Válvulas instaladas na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	118
Fig.B.5 – Clientes servidos pela RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	119
Fig.C.1 – Conduatas a instalar na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	121
Fig.C.2 – Nós de intersecção das conduatas a instalar para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	121
Fig.C.3 – Secções que existirão na Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	122
Fig.C.4 – Válvulas a instalar na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	122
Fig.C.5 – Clientes que serão servidos pela nova RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente ...	123
Fig.D.1 – Grelha usada para dividir a cidade do Porto para localização espacial das ER .....	125
Fig.F.1 – Contador <i>AquaMaster Electromagnetic Flowmeter</i> ( <a href="http://www.abb.pt/ProductGuide/">http://www.abb.pt/ProductGuide/</a> 7/06/10) .....	129

Fig.F.2 – Display do Contador AquaMaster Electromagnetic Flowmeter ( <a href="http://www.abb.pt/ProductGuide/">http://www.abb.pt/ProductGuide/</a> 7/06/10).....	129
Fig.G.1 – Exemplo de um PDA/SmartPhone com ArcGIS® Mobile ( <a href="http://www.esri.com/arcgismobile">http://www.esri.com/arcgismobile</a> 5/06/10).....	131
Fig.G.2 – Funcionamento em tempo real do sistema integrado ( <a href="http://www.esri.com/arcgismobile">http://www.esri.com/arcgismobile</a> 5/06/10).....	131
Fig.G.3 – Exemplo de actualização cadastral em tempo real (IGA redes <a href="http://www.esri.com/arcgismobile">http://www.esri.com/arcgismobile</a> 5/06/10).....	132
Fig.G.4 – Exemplo de actualização de informação de clientes em tempo real (IGA contadores <a href="http://www.esri.com/arcgismobile">http://www.esri.com/arcgismobile</a> 5/06/10).....	133
Fig.H.1 – Menu geral do SVMM.....	135
Fig.I.1 – Tipo de valas usadas na execução de RsAA.....	144
Fig.I.2 – Reposições de pavimentos.....	146
Fig.I.3 – Perfil de implantação tipo de uma válvula de seccionamento.....	147
Fig.I.3.1 – Perfil de implantação tipo de uma válvula de seccionamento (cortes).....	147



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens de captações com capacidade de regularização .....	6
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens de captações a fio de água .....	8
Quadro 3 – Indicadores do sistema de avaliação de qualidade dos serviços de águas prestados aos utilizadores (Alegre, H et al 2009) .....	20
Quadro 4 – Indicador AA01 .....	21
Quadro 5 – Indicador AA02 .....	22
Quadro 6 – Indicador AA03 .....	22
Quadro 7 – Indicador AA04 .....	22
Quadro 8 – Indicador AA05 .....	22
Quadro 9 – Indicador AA06 .....	23
Quadro 10 – Indicador AA07 .....	23
Quadro 11 – Indicador AA08 .....	23
Quadro 12 – Indicador AA09 .....	23
Quadro 13 – Indicador AA10 .....	24
Quadro 14 – Indicador AA13 .....	24
Quadro 15 – Indicador AA14 .....	24
Quadro 16 – Indicador AA15 .....	25
Quadro 17 – Indicador AA16 .....	25
Quadro 18 – Indicador AA17 .....	25
Quadro 19 – Indicador AA18 .....	26
Quadro 20 – Indicador AA19 .....	26
Quadro 21 – Comportamento das condutas e seus acessórios .....	29
Quadro 22 – Benefícios na implementação dos indicadores de desempenho (Alegre, H 2002) .....	33
Quadro 23 – Formas de aplicar os indicadores de desempenho (Alegre, H 2002) .....	34
Quadro 24 – Âmbito dos indicadores de desempenho (Alegre, H. et al 2004) .....	35
Quadro 25 – Prioridade dos indicadores que serão estudados (Alegre, H et al 2004) .....	35
Quadro 26 – Secções isoláveis da RAA exemplo .....	40
Quadro 27 – Clientes afectados pelo isolamento de cada Secção da RAA exemplo .....	40
Quadro 28 – Clientes que cada válvula da RAA exemplo separa e Índice de importância de cada uma .....	41
Quadro 29 – Métodos de posicionamento de válvulas N e N-1 .....	42
Quadro 30 – Recolha de dados 1 de 3 – enquadramento calendário e horário da reparação .....	52
Quadro 31 – Recolha de dados 2 de 3 – enquadramento espacial da reparação e validação cadastral .....	52

Quadro 32 – Recolha de dados 3 de 3 – quantificação horária do fecho das válvulas e registo da sua operacionalidade .....	53
Quadro 33 – Recolha de dados 1 de 3 – enquadramento calendário e horário da reparação (exemplo)54	
Quadro 34 – Recolha de dados 2 de 3 – enquadramento espacial da reparação e validação cadastral (exemplo).....	54
Quadro 35 – Recolha de dados 3 de 3 – quantificação horária do fecho das válvulas e registo da sua operacionalidade (exemplo) .....	54
Quadro 36 – Secções da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente.....	60
Quadro 37 – Nós-Secção da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	61
Quadro 38 – Secções que cada válvula instalada na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide (continuação).....	62
Quadro 39 – Indicadores da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	64
Quadro 40 – Número médio de clientes da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas .....	65
Quadro 41 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 95%.....	68
Quadro 42 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 50%.....	68
Quadro 43 – Secções da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	72
Quadro 44 – Nós-Secção da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	75
Quadro 45 – Secções que cada válvula projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide.....	77
Quadro 46 – Indicadores da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	81
Quadro 47 – Número médio de clientes da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas .....	82
Quadro 48 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 95%.....	85
Quadro 49 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 50%.....	85
Quadro 50 – Reclamações efectuadas no ano de 2007 .....	87
Quadro 51 – Reclamações efectuadas no ano de 2008.....	89
Quadro 52 – Reclamações efectuadas no ano de 2009.....	91
Quadro 53 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 em 2007 .....	92
Quadro 54 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 em 2008.....	93
Quadro 55 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 em 2009.....	93
Quadro 56 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 resumo de 2007, 2008 e 2009.....	94
Quadro 57 – Comparação entre o número de clientes afectados registado e espectável .....	95



Quadro 58 – Dados base para a estimativa dos custos de um plano de manutenção de válvulas hipotético .....	99
Quadro 59 – Inflação das variáveis intervenientes no plano de manutenção de válvulas hipotético.....	99
Quadro 60 – Quantidade de válvulas a substituir para atingir a fiabilidade desejada .....	100
Quadro 61 – Custo total anual do plano de manutenção de válvulas hipotético .....	100
Quadro 62 – Válvulas instaladas na Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	102
Quadro 63 – Parte da RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente que será substituída .....	102
Quadro 64 – Válvulas a instalar na Rua Paulo da Gama e sua envolvente .....	103
Quadro 65 – Parte da RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente que será instalada .....	103
Quadro G.1 – Benefícios da implementação de um sistema informático integrado.....	132
Quadro H.1 – Funcionalidades do SVMM.....	135



## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Letras Latinas:

A – Disponibilidade na RAA [%]

ADF - Porção de consumo disponível [%]

ADF<sup>0</sup> - Porção de consumo disponível com a RAA completamente operacional [%]

ADF<sup>i</sup> - Porção de consumo disponível com a conduta i inoperacional [%]

ADF<sup>ik</sup> - Porção de consumo disponível com as condutas i e k inoperacionais [%]

C24 - Número de ramais [nº]

D - Consumo do nó [m<sup>3</sup>/s]

D35 - População sujeita a interrupção do fornecimento de água durante o período de referência a multiplicar pela duração da interrupção [Pop x h]

D36 - Número de interrupções do serviço [nº]

E9 - Contadores de clientes distribuidores [nº]

F1 - População total abastecida da zona estudada [Pop]

H - Pressão na RAA [mca]

H1 - Duração do período de referência [dias]

I - Comprimento da conduta [m]

I<sub>a</sub> - Comprimento médio de uma Secção [m / Secção]

I<sub>ps</sub> - Comprimento total de conduta em Secções [m / Secção]

I<sub>s</sub> - Comprimento das Secções [m]

LVR - Rácio comprimento de condutas por válvula [m / válvula]

MA - Probabilidade de todas as condutas da RAA estarem operacionais [%]

ma - Disponibilidade mecânica [%]

MTBF - Tempo médio entre avarias [dias]

MTTR - Tempo médio de reparação [dias]

mu - indisponibilidade mecânica [%]

n - Número de pisos

n<sub>s</sub> - Número de Secções existentes na RAA

P - Probabilidade de uma conduta avariar [%]

PS - Número médio de condutas por Secção [conduta / secção]

Q<sup>avl</sup> - Caudal afluente a um determinado nó [m<sup>3</sup>/s]

QS13 - Indicador de qualidade de serviço 13 [%]

QS14 - Indicador de qualidade de serviço 14 [%]

QS15 - Indicador de qualidade de serviço 15 [%]

R - Fiabilidade de uma conduta [%]

u - Probabilidade de uma conduta falhar e as restantes continuarem a funcionar [%]

$u^1$  - Probabilidade de duas condutas falharem e as restantes continuarem a funcionar [%]

V - Número de válvulas a fechar para isolar uma Secção

$V_a$  - Número médio de válvulas a fechar para isolar uma Secção [válvula / Secção]

VPC - Número médio de válvulas por conduta [válvula / conduta]

Letras Gregas:

$\lambda$  - Número esperado de avarias por conduta por ano por unidade de comprimento [avaria/ ano . m]

$\beta$  - Número esperado de avarias por conduta por ano [avaria/ ano]

Abreviaturas:

AdDP - Águas do Douro e Paiva

AWWARF - *American Water Works Association Research Foundation*

BPE - Betão Pré-Esforçado

DQA - Directiva Quadro da Água

DN - Diâmetro Nominal

EE - Estações Elevatórias

EG - Empresa Gestora

EPA - *Environmental Protection Agency*

ER - Equipas de Reparação

ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA - Estação de Tratamento de Água

FC - Fibrocimento

FFD - Ferro Fundido Dúctil

FF - Ferro Fundido

PEAASAR - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PNA - Plano Nacional da água

PVC - Policloreto de Vinilo

QS13 - Indicador de Qualidade de Serviço 13

RAA - Rede de Abastecimento de Água

RASARP - Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal

SAA - Sistema de Abastecimento de Água

SIG - Sistemas de Informação Geográficas

SMAS - Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento

SVMM - *Strategic Valve Management Model*

IWA - *International Water Association*





# 1

## Introdução

### 1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A população depende no seu quotidiano do seu Sistema de Abastecimento de Água (SAA), quer seja abastecida pela Empresa Gestora (EG) do sistema instalado na zona de residência, quer possua captação própria. O uso diário do SAA levou ao estabelecimento de elevados graus de exigência, tanto ao nível da qualidade da água para consumo como do abastecimento contínuo.

Dado o elevado risco e as incertezas envolvidos na concepção de uma rede, a necessidade de garantir a fiabilidade é transversal a várias áreas. O mesmo ocorre na concepção das redes de energia eléctrica e de gás. Esta dissertação tratará a área do abastecimento de água.

As empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água têm-se deparado com o problema da perda de água. Esta deve-se em grande parte a avarias e deterioração dos componentes instalados nos seus sistemas [intrínseco à Rede de Abastecimento de Água (RAA)]. No entanto, em casos excepcionais, as catástrofes naturais e ataques terroristas (extrínseco à RAA) poderão também influenciar o desperdício de água. Tanto os fenómenos intrínsecos como os extrínsecos podem levar a que a RAA deixe de cumprir a tarefa de abastecer todos os clientes ligados durante um período de tempo impossível de prever.

Segundo alguns especialistas da área do abastecimento urbano, tem-se assistido, nos últimos anos, a progressos marginais no campo da optimização da concepção de sistemas de abastecimento de água. Optimização, neste contexto, é sinónima da determinação da dimensão física mais económica, isto porque, se a fiabilidade fosse considerada na fase de projecto, o problema teria infinitas soluções. Para além das muitas soluções possíveis numa análise de fiabilidade, não é consensual quais os parâmetros a considerar para a definir e os valores aceitáveis.

Os primeiros estudos de fiabilidade foram elaborados na década de setenta do século passado. Estes avaliavam a fiabilidade do sistema como um todo, incluindo a componente em alta (captação e adução) e baixa (distribuição), focando-se nas flutuações de fornecimento e consumo. Na década de oitenta, os estudos foram amplamente desenvolvidos devido às novas capacidades informáticas disponíveis. O SAA envolve, tal como enunciado anteriormente, pontos de abastecimento e pontos de consumo, cada ponto é tratado como uma variável distinta na análise da fiabilidade. Definem-se assim dois níveis de fiabilidade. O primeiro referente à componente em alta: capacidade das captações da cidade terem, ou não, água suficiente e de qualidade para atender ou exceder as necessidades dos clientes. O segundo referente à componente em baixa: capacidade da EG do SAA responder às avarias (catástrofe natural, deterioração ou contaminação), garantindo que o número de clientes afectados seja reduzido e num menor tempo possível.



Os primeiros estudos de fiabilidade baseavam-se na modelação hidráulica. Esta tinha como objectivo a formulação de uma equação que descrevesse o sistema em função do desempenho dos seus componentes, representando o seu funcionamento global. Contudo, tal equação é impossível de obter sem se recorrer a aproximações, dado o elevado número de variáveis e de escalas temporais envolvidas. O desempenho varia de componente para componente da RAA, e ao longo do tempo. Contudo, o problema torna-se ainda mais complexo quando se inclui a incerteza. Apesar do número elevado de variáveis, têm-se desenvolvido ferramentas informáticas para a avaliação da fiabilidade de sistemas de abastecimento de água instalados e algumas para incluir na fase de projecto de novos sistemas. A incerteza envolvida no SAA pode ser dividida em duas categorias: (1) incerteza do abastecimento e do consumo; (2) aleatoriedade da avaria dos componentes da RAA. O segundo ponto é mais significativo no que toca à influência no projecto de uma RAA fiável e está directamente relacionado com o planeamento e a manutenção da rede. Foram desenvolvidos vários estudos para incorporar a incerteza nas análises de fiabilidade. No entanto, nenhum método se encontra ainda universalmente aceite pela comunidade científica.

A fiabilidade é uma característica da RAA e é uma das variáveis que tem maior impacto na satisfação do consumidor. A complexidade matemática da caracterização por parâmetros hidráulicos da RAA levou alguns autores a desenvolverem vários índices para a sua determinação que têm como objectivo o cálculo expedito baseado em resultados da exploração do SAA. Neste trabalho, será abordado o cálculo do Indicador de Qualidade de Serviço 13 (QS13), incluído no Guia técnico 1 da entidade reguladora do sector das águas português, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) (LNEC 2004), baseado no manual de boas práticas da *International Water Association* (IWA).

## **1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação envolve diversos temas que se encontram organizados nos seguintes capítulos:

### **Capítulo 1**

Capítulo de apresentação que descreve sumariamente o tema desenvolvido na dissertação.

### **Capítulo 2**

Capítulo onde é feita uma breve caracterização da configuração do sistema público de abastecimento de água usado hoje em dia nos países ditos desenvolvidos. A cidade do Porto é usada como exemplo para explicar a evolução histórica do SAA e para introduzir as infra-estruturas que o compõem.

No fim do capítulo é feita uma avaliação da qualidade de serviço prestado, segundo o modelo da ERSAR, à EG do sistema público de abastecimento de água da cidade do Porto - Águas do Porto, EEM.

### **Capítulo 3**

Capítulo onde se pretende expor as noções que definem a fiabilidade de um SAA ao nível da interacção entre os componentes do sistema, assim como a probabilidade de estes sofrerem uma avaria mecânica.

Descrição da estrutura dos indicadores de desempenho propostos pela IWA e suas aplicações ao sector das águas. Desenvolvimento do QS13.

Exposição da relação entre as válvulas e a RAA. A posição destas na RAA constitui um dilema para o projectista. São expostos os métodos de tomada de decisão para a sua colocação, relacionando-a com a afectação dos clientes aquando da necessidade da interrupção do abastecimento.

#### **Capítulo 4**

Definição do âmbito e dos objectivos da dissertação.

#### **Capítulo 5**

Apresentação de metodologias para o cálculo do indicador QS13.

#### **Capítulo 6**

Capítulo onde é estudada a fiabilidade de um subsistema da cidade do Porto - Rua Paulo da Gama e sua envolvente – o qual está a ser alvo de um estudo para a substituição integral da rede de distribuição.

É feita uma análise a três níveis. Primeiro – usando o modelo *Strategic Valve Management Model* (SVMM), pretende-se analisar a fiabilidade em função das válvulas colocadas na RAA e a dimensão do isolamento que estas provocam em termos de clientes. Comparando os resultados obtidos da RAA instalada com a RAA projectada e os valores de referência para uma RAA ideal. Segundo – usando as reclamações de 2007, 2008 e 2009 registadas pela Águas do Porto, EEM para a zona em estudo, calcula-se o QS13 para cada ano, com recurso a algumas aproximações, e esboça-se uma crítica sobre os dados que foram registados que seriam necessários para o cálculo do QS13. Terceiro – faz-se a elaboração em termos de custos de um plano hipotético de manutenção de válvulas e a comparação económica entre a RAA instalada e a projectada.

#### **Capítulo 7**

Capítulo onde são expostas as conclusões alcançadas ao longo da dissertação. São ainda feitas sugestões para possíveis estudos complementares a realizar no mesmo âmbito



# 2

## Sistema público de abastecimento de água

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema público de abastecimento de água, que serve a maior parte dos países ditos desenvolvidos, é normalmente constituído por pontos de captação, Estações de Tratamento de Água (ETA), Estações Elevatórias (EE), condutas adutoras, reservatórios de armazenamento, condutas de distribuição e ramais domiciliários. Em Portugal, as infra-estruturas usadas para garantir o abastecimento são públicas (do Estado) e o serviço é considerado indispensável a todos os cidadãos.

#### 2.1.1. CAPTAÇÃO DE ÁGUA

A água captada para abastecimento humano advém de água superficial, água subterrânea ou água pluvial:

- Água superficial (quantidade disponível elevada, qualidade muito variável, constância das propriedades reduzida e facilidade de captação razoável):
  - Cursos de água (por exemplo, rios) com caudais sempre superiores aos caudais a captar permitindo captações sem regularização;
  - Cursos de água com caudal de estiagem insuficiente, para os quais é necessária a construção de uma barragem ou açude para regularização dos caudais médios em função das necessidades de abastecimento;
  - Em caso de escassez de reservas de água doce, poderá ser usada a água do mar, recorrendo à dessalinização.
- Água subterrânea (quantidade disponível muito variável, qualidade geralmente boa, constância das propriedades elevada e facilidade de captação reduzida):
  - Água captada em aquíferos (formações geológicas com permeabilidade adequada e capacidade de armazenamento), podendo ser efectuada a diferentes profundidades ou até à superfície nos casos de afloramento superficial (por exemplo, nascentes).
- Água pluvial (quantidade disponível reduzida, qualidade geralmente boa, constância das propriedades razoável nos períodos de chuva incerta nos períodos de armazenamento e facilidade de captação razoável):
  - Água captada pela superfície de telhados ou por superfícies especiais concebidas para o efeito, sendo em ambos os casos necessário o encaminhamento directo da água para reservatórios de armazenamento. A reutilização de águas pluviais constitui um tema que se encontra em grande desenvolvimento.

Os gestores de sistemas de abastecimento de água devem recorrer às melhores origens de água disponíveis, proporcionando condições para que a água seja retirada em quantidade capaz de atender o consumo e garantir a qualidade. As indicações de quantidade, qualidade, constância das propriedades e facilidade de captação são meramente indicativas, dado que a agricultura intensiva e a industrialização

têm repercussões negativas neste campo. Por exemplo, no caso da captação de águas subterrâneas tem aumentado a poluição por elevadas concentrações de fertilizantes e esgotos derivados de fossas sépticas. Contudo, as origens superficiais asseguram a captação de caudais mais elevados e constantes, com maior facilidade de captação, enquanto que as águas subterrâneas apresentam maior constância de temperatura e composição química ao longo do tempo e menor contaminação devido à filtração da água no solo.

#### 2.1.1.1. CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS

Para as reservas superficiais, existem vários tipos de captação que são escolhidos em função da topografia, velocidade e variação do nível da água. As captações superficiais poderão ter regularização ou serem a fio de água. Optar por um destes dois tipos depende da disponibilidade de água, decorrente do regime hidrológico da bacia hidrográfica em que se insere a captação, em função dos consumos a satisfazer. Portanto, se os caudais afluentes forem superiores aos caudais a captar optar-se-á por uma captação a fio de água. Se existir a probabilidade de os caudais afluentes serem insuficientes em determinados períodos do ano dever-se-á optar por um aproveitamento com capacidade de retenção em albufeira (construindo uma barragem ou açude assegurando a regularização dos caudais).

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens de captações com capacidade de regularização

Captação com capacidade de regularização	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probabilidade elevada de suficiência de caudal, decorrente da capacidade de armazenamento da albufeira;</li> <li>• Obras de captação geralmente simples;</li> <li>• A baixa velocidade de escoamento permite a sedimentação de material em suspensão, proporcionando um menor custo do tratamento da água bruta e menor desgaste dos grupos electrobomba;</li> <li>• O elevado tempo de retenção da água na albufeira favorece a uniformização da qualidade da água (por exemplo, redução de coliformes).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A baixa taxa de renovação e oxigenação poderão levar à eutrofização, provocando a morte da fauna e sabor e aspecto desagradável da água;</li> <li>• Elevada probabilidade de ocorrência de turvação da água;</li> <li>• Água sujeita a amplitudes térmicas sazonais muito variáveis;</li> <li>• Facilmente contaminável;</li> </ul>

As captações com regularização mais comuns podem ser agrupadas nos seguintes tipos:

- Captação por torre – É constituída por uma torre, em geral de planta circular, ligada à margem por um passadiço, o qual permite a passagem de pessoas, instalação das tubagens de compressão, etc. É geralmente construída em betão armado. Esta possui grupos elevatórios submersíveis para elevar a água, com aberturas a diferentes profundidades para acompanhar a variação sazonal do nível da água e da qualidade da água em profundidade;



Fig.1 – Barragem de Corte Brique ([http://cnpqb.inag.pt/gr\\_barragens/gbportugal/images/Corte\\_Brique5.jpg](http://cnpqb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/images/Corte_Brique5.jpg) 01/06/2010)

- Captação por poço – Tem funcionamento similar à captação em torre, diferindo na tomada de água por condutas em vez de aberturas, e fica enterrada na margem da albufeira. As condutas de admissão devem, igualmente, existir a diferentes profundidades;

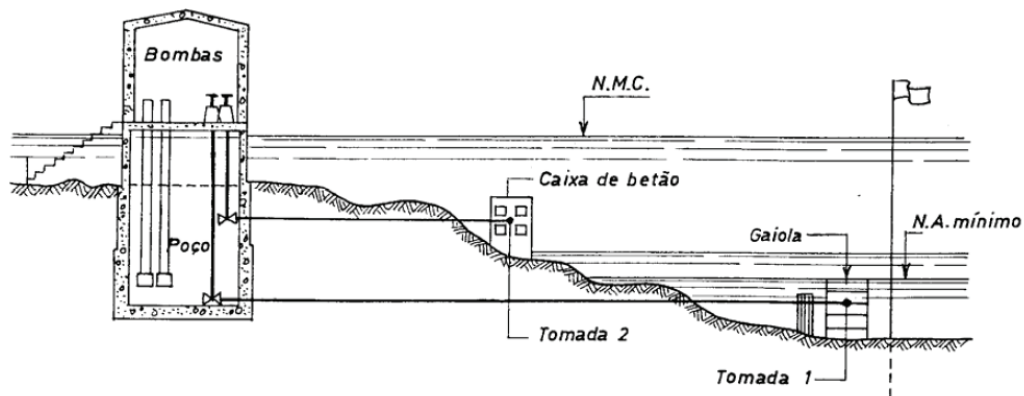


Fig.2 – Exemplo de uma captação em poço húmido (Tomás, M. T. 2002)

- Captação mista poço-torre – Trata-se de uma solução em que a torre de tomada de água fica parcialmente enterrada;

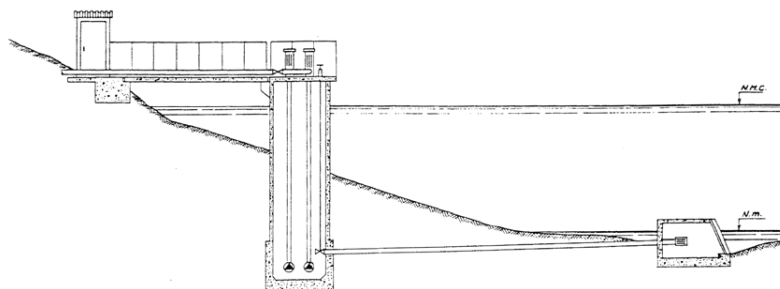


Fig.3 – Exemplo de uma captação mista poço-torre (Tomás, M. T. 2002)

- Captação flutuante – Plataforma flutuante. Os grupos elevatórios podem ficar na margem ou na outra extremidade da plataforma. Esta deverá ser amarrada de tal modo que possa acompanhar as variações do nível da água. A conduta de compressão deverá ser flexível;

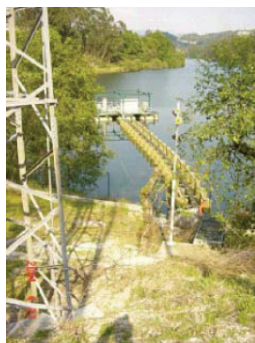


Fig.4 – Exemplo de uma captação flutuante (Tomás, M. T. 2002)

- Captação adossada ao corpo da barragem – Captação no corpo da barragem. Solução para barragens com o paramento de montante aproximadamente vertical. Apresenta semelhanças com a torre de tomada de água, com excepção do passadiço por não ser necessário;
- Captação através do corpo da barragem – Tipo de captação para pequenas barragens. A captação é feita com uma conduta que atravessa o corpo da barragem;
- Captação em canal derivado – Captação efectuada na albufeira através de um canal, geralmente em betão armado, onde o escoamento se processa em superfície livre.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens de captações a fio de água

Captação a fio de água	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal afluyente suficiente para atender às necessidades de consumo em todo o ano hidrológico, isto é, o rio dispõe de uma caudal mínimo de estiagem com elevada probabilidade de ser igualado ou excedido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração de substâncias dissolvidas na água muito variável;</li> <li>• Reduzida sedimentação de material transportado de maior dimensão;</li> <li>• Facilmente contaminável;</li> <li>• Estações de tratamento geralmente de exploração mais onerosa.</li> </ul>

Para as captações a fio de água, existem diversos métodos. Muitas são similares aos das captações com capacidade de regularização, com algumas diferenças que resultam de condicionalismos próprios:

- Captação por torre – É uma captação com características idênticas às utilizadas em albufeiras. Contudo, nestas, a velocidade do escoamento obriga à adopção de uma torre de tomada de água hidrodinâmica evitando a formação de pequenos turbilhões que propiciam o desgaste do betão. Na implantação da torre deve evitar-se a zona do eixo do curso de água, onde as velocidades são mais elevadas e é maior a probabilidade da ocorrência de choques com corpos flutuantes. Outros aspectos relacionados com eventuais alterações morfológicas, tais como o assoreamento ou a erosão do leito e/ou das margens, devem ser ponderados para escolha do local de implantação. Para mitigar este tipo de problemas, recomenda-se localização em zonas de inflexão de direcção do curso de água;
- Captação por poço – Este tem características análogas ao exposto para captações com regularização. Na escolha do local da margem de implantação também deverão ser tidas em conta as questões de ordem morfológica do curso de água;

- Captação mista poço-torre – Este tipo de captação é semelhante ao referido para as albufeiras. Novamente, as questões relativas à morfologia assumem um papel relevante na escolha do local de implantação;
- Captação em canal derivado – Captação em canal com as mesmas características da utilizada em captações em albufeiras;
- Captações simplificadas – Tomada de água directa com as extremidade de montante da conduta de aspiração protegida por grades e/ou providas de ralo.

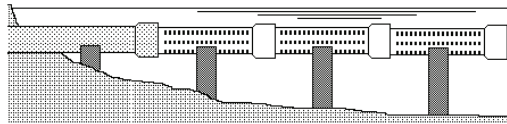


Fig.5 – Tomada directa por tubo perfurado (Costa, M. 2004)

#### 2.1.1.2. CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS

A selecção do tipo de captação depende da estrutura e das características geológicas dos aquíferos, e das necessidades de usos da água. Estas podem ser efectuadas pelos seguintes métodos:

- Captações verticais – Os poços escavados, de grande diâmetro, são utilizados para captar aquíferos freáticos pouco profundos e pouco espessos com permeabilidade reduzida, enquanto os furos são utilizados para captar sistemas multi-aquíferos (com dois ou mais aquíferos sobrepostos). A grande profundidade, as captações passam a ser economicamente pouco interessantes e a apresentar frequentemente águas muito mineralizadas. Os furos podem igualmente ser utilizados para captar aquíferos freáticos pouco profundos;
- Obras mistas – Actualmente, têm-se usado os poços com drenos radiais que, apesar do seu custo elevado, apresentam óptimo desempenho. Nestes poços, a superfície de drenagem é ampla graças à colocação dos drenos radiais horizontais ou ligeiramente inclinados.

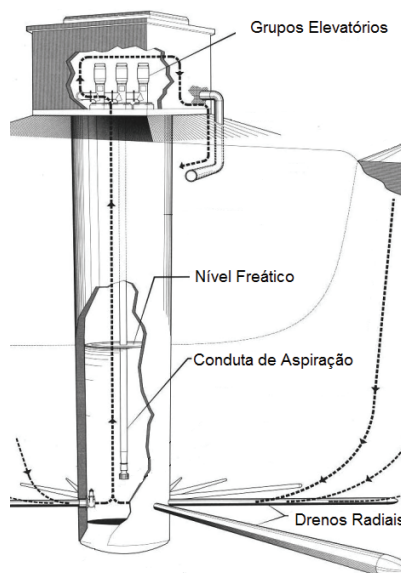


Fig.6 – Exemplo de um poço com drenos radiais



- Captações horizontais – As galerias de mina são utilizadas para captar pequenos aquíferos fissurados ocorrentes em rochas coerentes e são construídas em encostas, onde a topografia intersecta o nível freático, o que possibilita quase sempre a adução gravítica. São captações de baixa rentabilidade;

### 2.1.1.3. VISÃO GERAL

Existem várias tecnologias de captação, algumas com uma vasta aplicação e outras em desenvolvimento. Contudo a necessidade crescente de água de melhor qualidade e maior quantidade tem levado ao forte desenvolvimento desta área. A água captada tem a denominação de água bruta. Na maior parte das vezes, a água bruta não se encontra com qualidade para ser introduzida na RAA. Portanto, para garantir os parâmetros de qualidade para consumo humano a jusante da captação, deverá existir uma infra-estrutura denominada ETA. Esta poderá ser tanto mais complexa quanto menor for a qualidade da água bruta, podendo ser uma estação de dessalinização no caso de existir a necessidade de captação de água marítima.

### 2.1.2. SISTEMA ADUTOR E ELEVATÓRIO

A água processada na ETA é introduzida no subsistema de montante da RAA. Este é denominado de sistema adutor e é constituído por condutas adutoras, reservatórios de armazenamento e EE. No percurso do sistema adutor não existe consumo, isto é, ao longo do sistema adutor não existem clientes ligados.

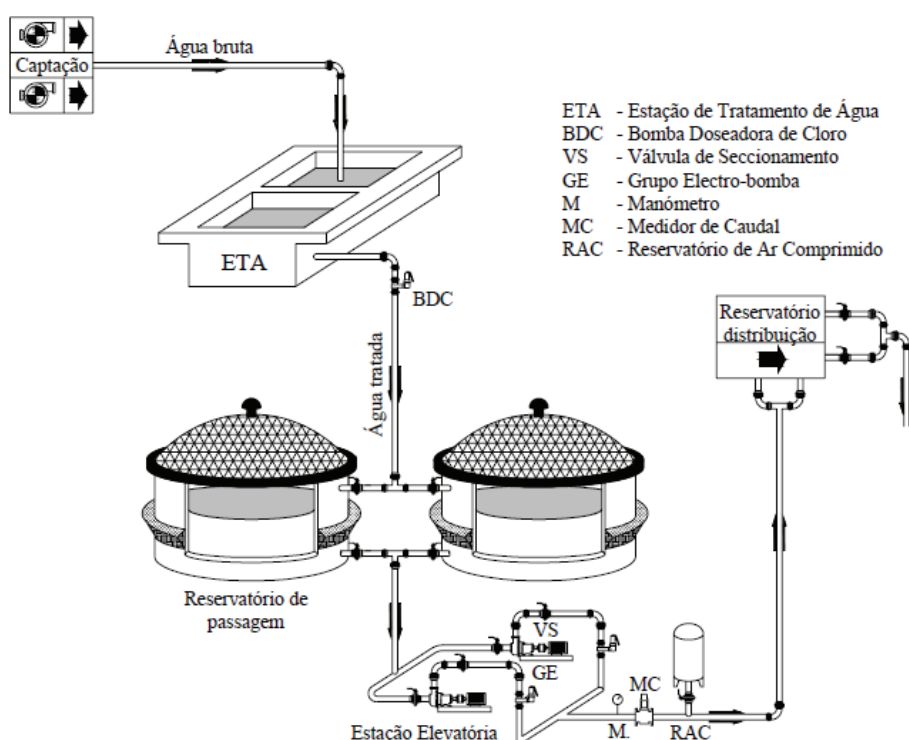


Fig.7 – Esquema de um sistema adutor (Marques, J. e Sousa, J. 2008)

O escoamento pode efectuar-se em superfície livre (canais) ou sob pressão (condutas). Os escoamentos sob pressão podem ser gravíticos ou recorrer à elevação. Por factores económicos o

escoamento é feito por gravidade. Mas, por factores topográficos, é praticamente indispensável a realização de pelo menos um ponto de elevação. Para além disto, só é permitido o escoamento em superfície livre em adutoras para abastecimento público de água bruta, isto é, a montante da estação de tratamento, uma vez que o perigo de contaminação é eminente.

No projecto de condutas adutoras, define-se:

- Caudal de dimensionamento;
- O traçado em planta e em perfil;
- Materiais a utilizar nas condutas;
- Assentamento das condutas;
- Órgãos acessórios de manobra e segurança (por exemplo maciços de ancoragem e amarração);
- Volume dos reservatórios de armazenamento.

A definição do caudal de dimensionamento exige uma análise dos consumos a satisfazer e das necessidades de armazenamento. Segundo a Norma Portuguesa 837, o volume diário a transportar deve ser tal que, conjuntamente com o da água armazenada, permita fazer face ao consumo crítico até ao último ano do horizonte de projecto. Existe alguma liberdade na definição do caudal de cálculo da adutora, o qual tem por limite máximo o caudal de ponta horário e por limite mínimo o caudal diário médio anual. O projectista deve ter o bom senso e escolher a solução a solução mais económica, tendo presente os condicionalismos inerentes ao projecto. Portanto, quanto menor o seu valor, menor o custo da adução e dos restantes órgãos que compõem o sistema adutor, como por exemplo, as captações, as estações de tratamento e as estações elevatórias. Assim haverá a necessidade de conceber maiores reservas de água nas zonas de distribuição, aumentando o custo dos reservatórios a construir. A Norma Portuguesa 837 indica a consideração do caudal de dimensionamento correspondente ao transporte do volume diário médio do mês de maior consumo no horizonte do projecto para períodos de 24 horas diárias em adução gravítica e 20 horas diárias em adução elevatória. Para as EE as 20 horas diárias constituem um valor de referência, sendo que a fixação do número de horas de bombagem depende de uma análise económica realizada em conjunto com o dimensionamento hidráulico da elevatória. Para além disto, a Norma Portuguesa 837 impõe um agravamento mínimo do caudal de dimensionamento de 10%, ou 0.2 l/s, para considerar as eventuais perdas de água na adução.

O traçado das condutas adutoras é condicionado pela planimetria e a altimetria da zona onde será implantada. O traçado em planta deverá procurar satisfazer a extensão mais curta entre a secção de montante e de jusante, satisfazendo os condicionalismos urbanos da zona de implantação. Em perfil longitudinal, o traçado das adutoras deverá evitar, tanto quanto possível, pressões elevadas que determinam a utilização de materiais mais restantes, não se instalar troços horizontais adoptando, segundo a Norma Portuguesa 387, uma inclinação mínima de 0.3% nos troços ascendentes e de 0.5% nos descendentes, evitar traçados em que a linha piezométrica tenha valores inferiores a 10 mca em condições normais, e 5 mca em condições excepcionais. Na extremidade dos troços ascendentes, deverá ser prevista a colocação de uma ventosa (válvula com a função de remoção de ar diluído no escoamento), e na extremidade dos pontos baixos deverá ser prevista a colocação de uma descarga de fundo (válvula com a função de abertura para o exterior para limpeza de depósitos acumulados). É ainda desejável, aquando da ocorrência de grandes inclinações, garantir a amarração das condutas a maciços de amarração.

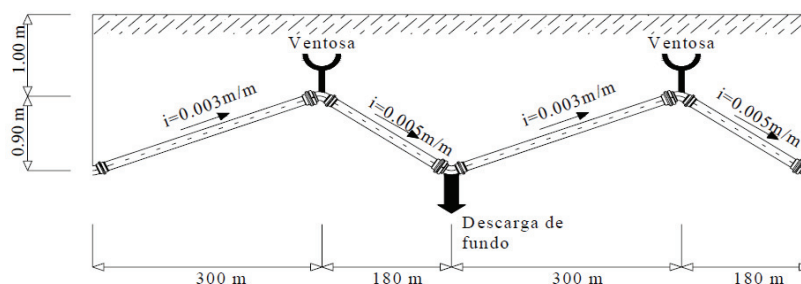


Fig. 8 – Traçado em perfil tipo de uma conduta adutora (Marques, J. e Sousa, J. 2008)

O dimensionamento hidráulico das adutoras exige, para além do conhecimento dos caudais de cálculo, informações sobre as características das condutas que poderão ser utilizadas, incluindo os diâmetros comerciais disponíveis, o respectivo comportamento em termos de resistência das paredes a agressões físicas, químicas ou eléctricas e ainda, a respectiva resistência mecânica, ou seja, pressões máximas com que poderão funcionar. Os materiais mais usados em condutas adutoras são o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), o Ferro Fundido (FF), o Ferro Fundido Dúctil (FFD) e o Betão Armado Pré-Esforçado (BPE).

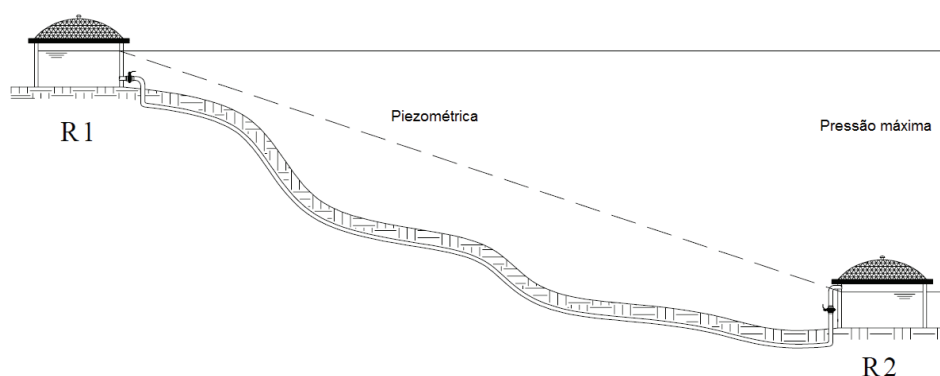


Fig. 9 – Exemplo de Adutora gravítica (Marques, J. e Sousa, J. 2008)

Como referido anteriormente, condicionalismos topográficos, como por exemplo a captação a baixa altitude, levam à necessidade da realização de EE. Estas consistem num conjunto de dois reservatórios de armazenamento montante e jusante, sendo que no de montante existe um conjunto de grupos electrobomba permitindo que a água seja elevada para o reservatório a jusante. A implantação do reservatório de jusante deve ser feita a uma cota topográfica suficientemente alta que permite à zona abastecida ter uma pressão de qualidade de serviço. Esta deve cumprir o mínimo estabelecido no Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de Agosto:

$$H = 10 + 4n \quad [\text{mca}] \quad (1)$$

Em que: H = Pressão na RAA [mca]

n = Número de pisos

O mesmo decreto estabelece que a pressão não deverá exceder os 60 mca, com o intuito de evitar a ocorrência de avarias sucessivas (tanto roturas em condutas como noutros componentes), decorrentes das flutuações de pressão provocadas pelas variações de consumo (alteração o nível de água no reservatório).

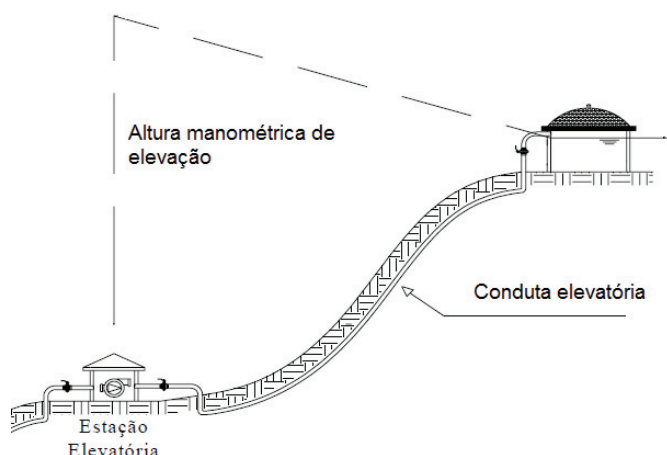


Fig.10 – Exemplo de um sistema elevatório (Marques, J. e Sousa, J. 2008)

### 2.1.3. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A jusante do sistema adutor, tem-se um conjunto de condutas que serve para a distribuição domiciliária, assegurando o transporte da água desde os reservatórios de distribuição (reservatório de água tratada do sistema adutor destinado à distribuição) até aos clientes, devendo garantir quantidade e pressão adequadas. O escoamento nas condutas é processado sob pressão. Os materiais mais utilizados são o PEAD, o Policloreto de Vinilo (PVC), o FF, o FFD e o Fibrocimento (FC). Por razões técnicas e económicas, assistiu-se, nos últimos anos, à uniformização dos materiais usados, registando-se uma convergência para o PEAD e o FFD. O conjunto de condutas poderá estar organizado em malhas (subsistema emalhado) e ramificações (subsistema ramificado). Os sistemas emalhados têm o benefício de garantirem a autolimpeza e não promoverem a formação de depósitos. Numa rede de distribuição, há tendência para a coexistência dos dois tipos de organização, conferindo a este subsistema da RAA a particularidade de poder ter uma configuração em planta altamente complexa. Para ultrapassar os condicionalismos urbanos, existe uma elevada quantidade de acessórios disponíveis para as condutas e o material poderá ser variável ao longo da rede. O estudo de sistemas de distribuição de água encontra-se definido no decreto regulamentar anteriormente referido.

Os domicílios ligam às condutas de distribuição por condutas designadas de ramais domiciliários.

O caudal de dimensionamento a considerar no projecto das redes de distribuição é o caudal de ponta, interpretado como o caudal máximo horário.

Na rede de distribuição, em particular, para além dos acessórios das condutas (acessórios que permitem realizar as ligações entre condutas) destacam-se os acessórios da rede:

- Válvulas de seccionamento;
- Válvulas de retenção;
- Descargas de fundo;
- Ventosas;
- Juntas de ligação e juntas cegas;
- Câmaras de perda de carga ou válvulas redutoras de pressão;
- Bocas de rega e de lavagem;
- Marcos de água;

- Medidores de caudal;
- Instalações elevatórias;
- Fontanários, bebedouros e lavadouros.

Estas instalações complementares permitem o manuseamento e controlo da rede, como, por exemplo, a interrupção do abastecimento através do accionamento das válvulas de seccionamento e a prestação de serviços públicos como o uso dos marcos de água na ocorrência de incêndios.

#### 2.1.4. RESUMO DO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em resumo, o denominado SAA em alta é constituído pela captação, tratamento e adução de água, e o sistema em baixa é constituído apenas pela rede de distribuição. A realização destes sistemas não funciona *per si*, isto é, é necessária uma EG que estabeleça os critérios de exploração do seu sistema. Em Portugal, os sistemas em Alta são geridos, maioritariamente, por sistemas multimunicipais (concessões atribuídas pelo estado), enquanto os sistemas em baixa são geridos por serviços municipais/municipalizados, empresas municipais, concessões atribuídas por municípios ou parcerias público/privadas. Muito raramente, a EG de um sistema em baixa gere o sistema em alta. Portanto, ao longo do SAA é possível existirem várias empresas gestoras em série, mas nunca podendo coexistir em paralelo. Na Fig.11, apresenta-se um esquema resumo para definir o SAA.

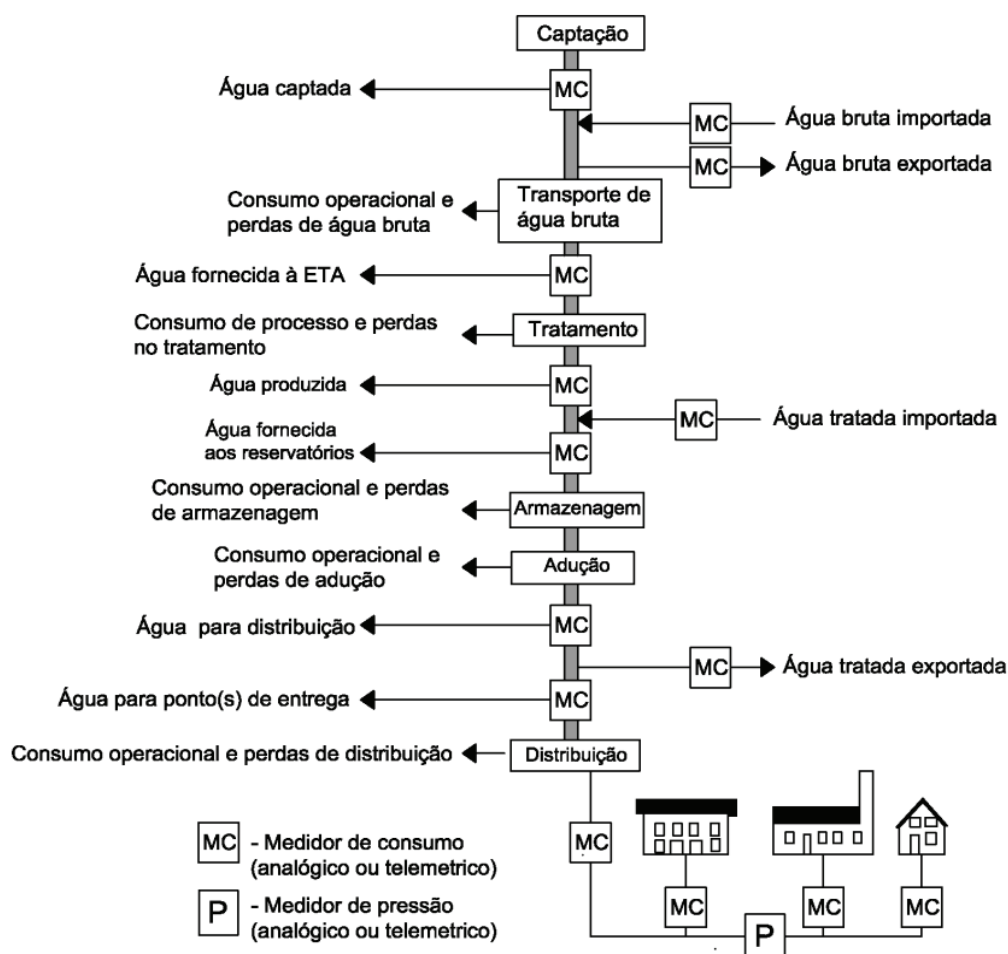


Fig.11 – Esquema de um modelo de um sistema público de abastecimento de água (Alegre, H. *et al* 2004)

Analisando a Fig.11, nota-se que idealmente num SAA, todos os pontos de abastecimento de água deveriam ter controlo de caudal. Este é de grande utilidade, nomeadamente para a detecção de fugas e consequente minimização das perdas de água. Para além disto, também se nota dois conceitos importantes: a importação (compra) e exportação (venda) de água. Às empresas gestoras que têm ao seu cuidado sistemas de abastecimento de água em alta, incube a venda de água para sistemas de abastecimento de água em baixa. As últimas têm então a necessidade da compra de água, constituindo um peso considerável no seu resultado operacional no final de cada ano económico. A água vendida ou comprada poderá estar em estado bruto, para empresas que possuam ETA, ou em estado já tratado. A presente dissertação foi desenvolvida na empresa municipal Águas do Porto, EEM que gere um sistema municipal em baixa. A água é comprada à Águas do Douro e Paiva, SA (AdDP) em estado já tratado. Explicar-se-á, posteriormente, de forma pormenorizada, o funcionamento deste SAA.

## 2.2. O EXEMPLO DO PORTO - CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

À semelhança de outras cidades, o primeiro SAA na cidade do Porto não era realmente um sistema mas sim um conjunto disperso de pequenas captações individuais de minas, poços, bolhões, ribeiras, fontes e chafarizes. A água para uso público começou por ser distribuída em fontes e chafarizes, mas em condições de salubridade deficientes. A metropolização levou a uma degradação cada vez mais acentuada da qualidade da água, tornando urgente uma gestão integrada.

Em 1880, foi celebrado o primeiro contrato de concessão do sistema de abastecimento público de água aos cidadãos. A concessionária foi a *Compagnie Générale des Eaux pour l'Étranger*, empresa de origem francesa com actividade no ramo. Mais tarde, foi assinado um contrato permitindo a captação das águas nos rios Sousa e Ferreira. O contrato de concessão foi cessado em Março de 1927 devido a condicionalismos externos – Primeira Guerra Mundial – que levaram ao desinteresse na gestão. Nesse mesmo ano, a Câmara Municipal do Porto criou os Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento (SMAS), que ficaram encarregues da gestão do serviço.

A falta de água de boa qualidade e de exploração económica a nível regional levou à constituição da empresa AdDP que, desde Janeiro de 1998, é responsável pela exploração do abastecimento em alta, garantindo o abastecimento à rede distribuição domiciliária dos SMAS.

Em 2006, devido a insuficiências na gestão municipal foi criada a empresa municipal, Águas do Porto, EM, passando mais tarde a chamar-se Águas do Porto, EEM. A Águas do Porto, EEM ficou concessionária de uma RAA com cento e vinte anos de existência, daí sucedendo inúmeros problemas. Actualmente a cobertura de abastecimento de água é quase total, através de uma rede de distribuição que serve cerca de cinquenta e três mil clientes.

As suas áreas de actividade são, para além do abastecimento público de água, a recolha e tratamento de águas residuais (que já eram assegurados pelos ex-SMAS), a recolha e descarga de águas pluviais e a reabilitação de ribeiras e praias, assegurando assim a gestão integrada do ciclo urbano da água no município do Porto. A empresa Águas do Porto, EEM está estruturada de acordo com o organograma da Fig.12.

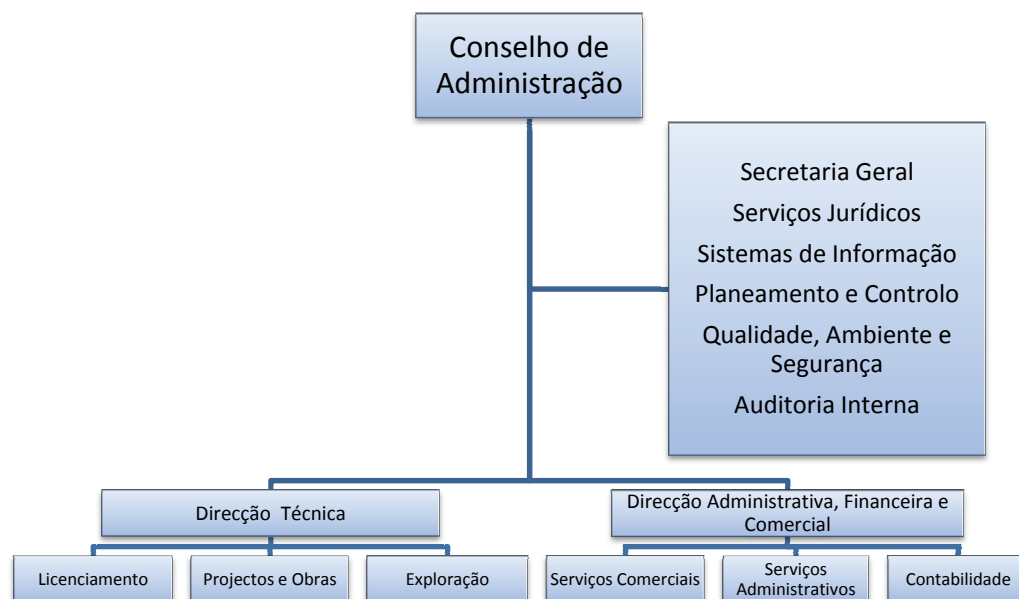


Fig.12– Organograma da Águas do Porto, EEM

Na actividade em estudo – abastecimento público de água – a empresa tem como objectivo a realização de um conjunto de intervenções com o fim de melhorar a eficiência, qualidade de serviço e fiabilidade da rede de distribuição. Estas medidas serão implementadas maioritariamente através da mudança de regras de exploração. Um dos exemplos a destacar é o Projecto Porto Gravítico (Martins, J. P. 2007), que se baseia na redistribuição das zonas de distribuição tornando o sistema inteiramente gravítico. Esta mudança permite a desactivação de seis estações elevatórias, fomentando a poupança em custos de energia e pessoal.

#### 2.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA COMPONENTE EM ALTA

No início da década de noventa, foi fundada a AdDP com o intuito de criar uma solução regional de abastecimento de água. Esta tem a seguinte estrutura accionista: Águas de Portugal, SGPS, SA e os municípios de Arouca, Castelo de Paiva, Cinfães, Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Oliveira de Azeméis, Ovar, Porto, Santa Maria da Feira, S. João da Madeira, Valongo, Vila Nova de Gaia, Paredes, Lousada, Felgueiras e Paços de Ferreira.

A AdDP é concessionária do abastecimento do sistema multimunicipal em alta da área sul do grande Porto até ao ano 2026.

A Fig.15 mostra o mapa completo do SAA em alta existente na região. Tal como se pode verificar, o abastecimento à cidade do Porto é assegurado pelo subsistema abastecido pela captação de Lever. Esta é efectuada na barragem de Crestuma e depois tratada na ETA de Lever (Fig.13). Este subsistema abastece directamente o reservatório e estação elevatória de Jovim que abastece o sector a norte do rio Douro.

A ETA de Lever (Fig.13) é alimentada pelas captações de Lever I – Gaia e Lever II – Porto. O Porto é alimentado pelo sistema adutor da Fig.14.

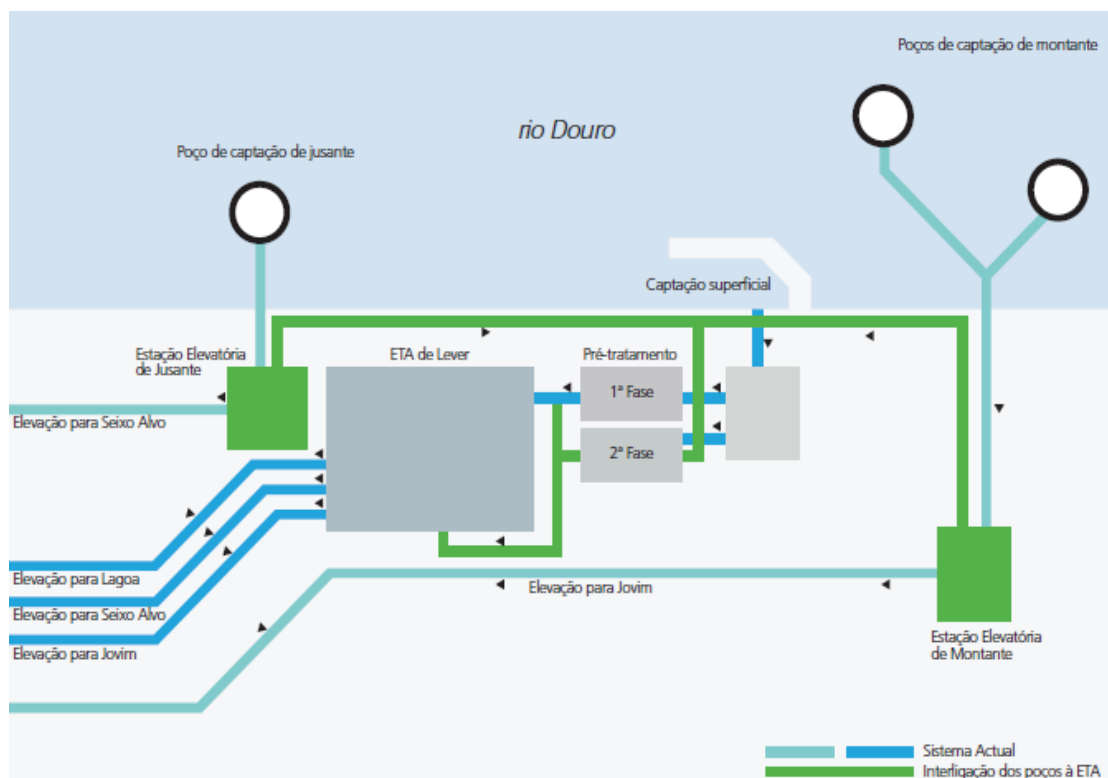


Fig.13 – Esquema da captação de Crestuma-Lever (Alves, J. F. 2005)

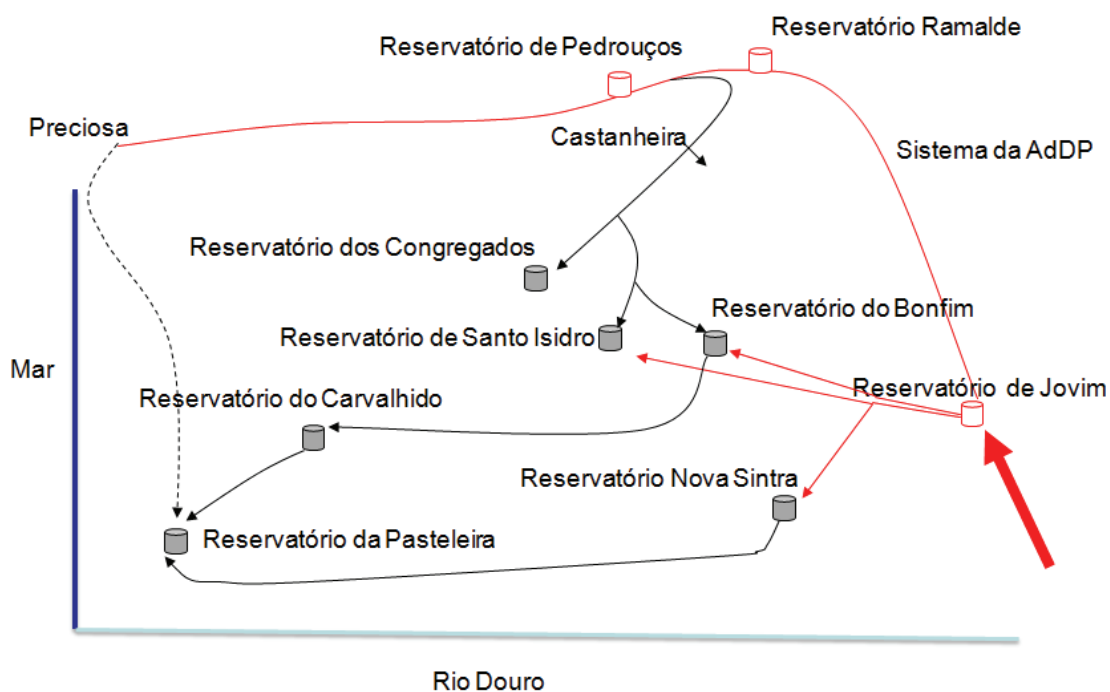


Fig.14– Esquema dos reservatórios abastecedores da cidade do Porto (Lacerda, F. 2010)





Fig.15 – Esquema adutor da região do Douro e Cávado (Alves, J. F. 2005)<sup>1</sup>



Fig.15.1 – Esquema adutor da região do Douro e Cávado (legenda) (Alves, J. F. 2005)

<sup>1</sup> Figura de 2005

### 2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DA COMPONENTE EM BAIXA

As condutas enunciadas anteriormente são consideradas de grande diâmetro, fazendo a interligação entre os reservatórios de regularização da AdDP e os reservatórios de funcionamento misto, distribuição e regularização, existentes na cidade do Porto que possuem uma capacidade total de armazenamento de cento e vinte cinco mil quatrocentos e cinquenta metros cúbicos. O sistema de distribuição da componente em baixa é constituído por condutas de menor diâmetro (condutas e ramais domiciliários), válvulas de seccionamento (cerca de sete mil novecentos e oitenta e quatro), marcos de incêndio e outros acessórios, perfazendo uma extensão total de setecentos e vinte e dois quilómetros.

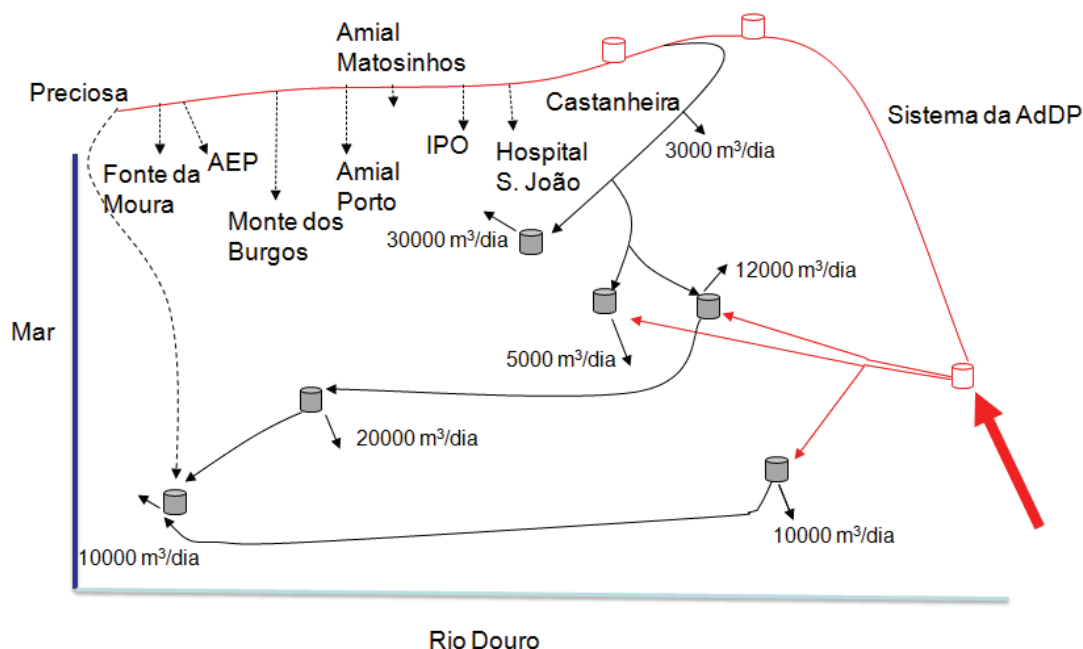


Fig.16 – Pontos de ligação à rede de distribuição da cidade do Porto (Lacerda, F. 2010)

### 2.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SERVIÇO PRESTADO PELA EMPRESA GESTORA DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Nas últimas décadas, o sector do abastecimento público de água no território nacional tem vindo a sofrer melhorias consideráveis. Um dos avanços mais significativos é o aumento da cobertura da RAA (tendências construtivas desde 1986), aumentando a taxa de população servida de 80% para aproximadamente 93% (adesão dos clientes). O impulsionador do desenvolvimento registado é a iniciativa comunitária: Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR). Este é um documento estratégico de planeamento no domínio das infra-estruturas urbanas de abastecimento de água e saneamento de águas residuais. Encontra-se actualmente em vigor o PEAASAR II (2007-2013) que tem os seguintes objectivos no sector da água:

- Objectivo 1: Servir 95% da população total do país com sistemas públicos de abastecimento de água, com pelo menos 90% na área de cada sistema.
- Objectivo 2: Obter níveis adequados de qualidade do serviço, mensuráveis pela conformidade dos indicadores de qualidade de serviço;

- Objectivo 3: Estabelecer, a nível nacional, tarifas ao consumidor final evoluindo tendencialmente para um intervalo compatível com a capacidade económica das populações.

Destes objectivos, verifica-se que será necessário um elevado número de substituição/reabilitação para elevar a qualidade do serviço e de novas instalações para aumentar o nível de serviço. Com estas medidas, registou-se uma melhoria muito significativa da qualidade da água, sobretudo devido ao aumento do número de análises efectuadas pelas empresas gestoras, que rondou 99% das requeridas, e da entrada em vigor da Directiva Quadro da Água (DQA) e do Plano Nacional da Água (PNA).

As empresas gestoras de um SAA passam genericamente por três fases de desenvolvimento (Martins, J. P. 2007). A primeira, denominada fase de quantidade, é o período dedicado à implantação de infra-estruturas, ou seja, aumento da cobertura de clientes disponíveis; a segunda, denominada fase de qualidade, é o período em que as empresas promovem regras de exploração de modo a criar condições que garantam a qualidade da água abastecida; por último, uma fase de excelência em que as empresas se focam na optimização da qualidade da água, nos critérios de comodidade dos clientes, assim como na sustentabilidade ambiental. Segundo estatísticas recentes, coexistem na economia nacional empresas que atravessam fases distintas de desenvolvimento, isto é, existem empresas que não possuem infra-estruturas básicas e outras que se encontram num estado de desenvolvimento avançado.

Apesar do desenvolvimento significativo, constata-se que ainda há imenso trabalho a realizar, sendo a meta garantir a toda a população um serviço de elevada qualidade.

A Avaliação da Qualidade do Serviço Prestado aos Utilizadores faz parte do Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP). Este relatório tem por objectivo salvaguardar o interesse dos consumidores e fomentar uma espécie de competição entre as empresas gestoras avaliadas. Esta avaliação é feita a todos os sistemas multimunicipais, gestores em alta, mas apenas a alguns sistemas municipais, nos quais a Águas do Porto, EEM não se encontra incluída.

O modelo promovido pela ERSAR tenta implementar objectivos que levarão à fase de excelência. Este modelo é composto por indicadores de qualidade de serviço, indicadores para avaliar a sustentabilidade financeira das empresas e indicadores em prol da sustentabilidade ambiental.

Realizar-se-á uma estimativa da qualidade de serviço da empresa Águas do Porto, EEM do ano 2009 de acordo com o modelo do RASARP. Um dos objectivos internos da empresa é alcançar a excelência.

Poder-se-á definir a seguinte estrutura de indicadores a determinar, atendendo que a EG dever-se-á enquadrar nos objectivos de cada um:

Quadro 3 – Indicadores do sistema de avaliação de qualidade dos serviços de águas prestados aos utilizadores  
(Alegre, H *et al* 2009)

AA01 – Cobertura do serviço (%)
AA02 – Preço médio do serviço (€/m <sup>3</sup> )
AA03 – Falhas no abastecimento [nº/10 <sup>3</sup> ramais.ano]
AA04 – Análises de água realizadas (%)
AA05 – Qualidade da água fornecida (%)
AA06 – Resposta a reclamações escritas (%)

Quadro 3 – Indicadores do sistema de avaliação de qualidade dos serviços de águas prestados aos utilizadores (Alegre, H *et al* 2009) (continuação)

AA07 – Rácio de cobertura dos custos operacionais
AA08 – Custos operacionais unitários (€/m <sup>3</sup> )
AA09 – Rácio de solvabilidade
AA10 – Água não facturada (%)
AA11 – Cumprimento do licenciamento das captações de água (%)
AA12 – Utilização das estações de tratamento (%)
AA13 – Capacidade de reserva de água tratada (d)
AA14 – Reabilitação de condutas (%/ano)
AA15 – Reabilitação de ramais (%/ano)
AA16 – Avarias em condutas [nº/(100 km.ano)]
AA17 – Recursos humanos [nº/(10 <sup>3</sup> ramais.ano)]
AA18 – Ineficiência da utilização de recursos hídricos (%)
AA19 – Eficiência energética de instalações elevatórias [kWh/(m <sup>3</sup> x 100 m)]
AA20 – Destino final das lamas do tratamento (%)

Tal como apresentado no subcapítulo 2.2, a empresa Águas do Porto, EEM gere apenas um sistema de abastecimento municipal de distribuição, pelo que não é avaliável por todos os indicadores enunciados anteriormente, nomeadamente o AA11, AA12 e AA20.

#### 2.3.1. AA01 - COBERTURA DO SERVIÇO

Percentagem do número total de alojamentos localizados na área de intervenção da EG servidos pela rede pública de abastecimento de água.

Quadro 4 – Indicador AA01

Valor	Avaliação	Observações
≈100%	●	≥ 95%

#### 2.3.2. AA02 - PREÇO MÉDIO DO SERVIÇO

Valor de venda de água por unidade de volume de água consumida clientes.

Proveitos = 27651014.32 €

Volume vendido = 17899240 m<sup>3</sup>

Quadro 5 – Indicador AA02

Valor	Avaliação	Observações
1.54 €/ m <sup>3</sup>	-	No sector este indicador apresenta percentis 25 e 75 de respectivamente, 1.21 e 1.51€/m <sup>3</sup>


### 2.3.3. AA03 – FALHAS NO ABASTECIMENTO

Frequência de falhas no abastecimento por mil ramais.

O número de falhas de abastecimento em 2009 = 2569

Nº de ramais = 50000


Quadro 6 – Indicador AA03

Valor	Avaliação	Observações
51.38		O intervalo de referência deste indicador situa-se entre 0.00 e 1.00/ (10 <sup>3</sup> ramais . ano)

### 2.3.4. AA04 – ANÁLISES DE ÁGUA REALIZADAS

Percentagem de análises requeridas pela legislação que foram realizadas


Quadro 7 – Indicador AA04

Valor	Avaliação	Observações
100%		O valor de referência para um bom desempenho é de 100%

### 2.3.5. AA05 – QUALIDADE DA ÁGUA FORNECIDA

Percentagem de análises realizadas à água tratada cujos resultados estão de acordo com a legislação aplicável.

Quadro 8 – Indicador AA05

Valor	Avaliação	Observações
>97 % e <98%		O intervalo de referência deste indicador, correspondente a um bom desempenho, situa-se entre 99%, valor definido no PEAASAR (2007-2013), e 100%.

### 2.3.6. AA06 – RESPOSTA A RECLAMAÇÕES ESCRITAS

Percentagem de reclamações escritas que foram objecto de resposta escrita.

Quadro 9 – Indicador AA06

Valor	Avaliação	Observações
N.D.	●	O intervalo de referência para um bom desempenho situa-se entre 100% e 95%.

### 2.3.7. AA07 - RÁCIO DE COBERTURA DOS CUSTOS OPERACIONAIS

Rácio entre os proveitos operacionais ajustados e os custos operacionais ajustados.

Proveitos operacionais ajustados em 2009 = 29362069.83 €

Custos operacionais ajustados em 2009 = 21652969.26 €

Quadro 10 – Indicador AA07

Valor	Avaliação	Observações
1.36	●	O valor de referência para um bom desempenho, tem que ser superior a 1.50

### 2.3.8. AA08 – CUSTOS OPERACIONAIS UNITÁRIOS

Razão entre os custos operacionais ajustados e o consumo autorizado.

Consumo autorizado em 2009 = 17899240 m<sup>3</sup>

Custos operacionais ajustados em 2009 = 21652969.26 €

Quadro 11 – Indicador AA08

Valor	Avaliação	Observações
1.21	-	No sector este indicador apresenta percentis 25 e 75 de respectivamente, 0.94 e 1.32€/m <sup>3</sup>

### 2.3.9. AA09 – RÁCIO DE SOLVABILIDADE

Rácio entre o capital próprio e o capital alheio

Capital próprio = 91869727.52 €

Capital alheio = 23466391.18 €

Quadro 12 – Indicador AA09

Valor	Avaliação	Observações
3.91	●	O valor de referência para um bom desempenho, situa-se acima de 0.20

### 2.3.10. AA10 – ÁGUA NÃO FACTURADA


Percentagem de água entrada no SAA que não é facturada

Água de entrada no SAA = 25693558 m<sup>3</sup>

Água facturada = 17899240 m<sup>3</sup>

Água não facturada = 7794318 m<sup>3</sup>

Quadro 13 – Indicador AA10

Valor	Avaliação	Observações
30.34 %		O seu valor de referência deve ser tão baixo quanto economicamente viável, não sendo desejáveis valores superiores 20%


### 2.3.11. AA13 – CAPACIDADE DE RESERVA DE ÁGUA TRATADA

Autonomia de fornecimento de água tratada pelos reservatórios de distribuição. Capacidade de reserva de água na adução e na distribuição a dividir pela água de entrada no SAA.

Capacidade de reserva dos reservatórios = 125450 m<sup>3</sup>

Água de entrada no sistema por dia = 9378148670 m<sup>3</sup>/dia


Quadro 14 – Indicador AA13

Valor	Avaliação	Observações
1.78 Dias		O intervalo de referência para um bom desempenho, situa-se acima de um dia, e por razões sanitárias não são convenientes períodos de retenção elevados, superiores a dois dias.

### 2.3.12. AA14 – REABILITAÇÃO DE CONDUTAS

Percentagem de condutas de adução e distribuição que foram reabilitadas.

Quadro 15 – Indicador AA14

Valor	Avaliação	Observações
N.D.		O intervalo de referência deste indicador, correspondente a um bom desempenho, situa-se entre 1.0 e 2.0%/ano

### 2.3.13. AA15 – REABILITAÇÃO DE RAMAIS

Percentagem de ramais que foram reabilitados.

Nº de ramais = 50000

Ramais reabilitados = 120

Quadro 16 – Indicador AA15

Valor	Avaliação	Observações
0.24%	●	O valor de referência deste indicador, correspondente a um bom desempenho, é de 2.0%/ano

### 2.3.14. AA16 – AVARIAS EM CONDUTAS

Número de avarias em condutas por unidade de comprimento

Número de avarias em 2009 = 927

Comprimento total da RAA = 722 km

Quadro 17 – Indicador AA16

Valor	Avaliação	Observações
128	●	O intervalo de referência deste indicador, correspondente a um bom desempenho, situa-se entre 0 e 30 avarias/(100 km . ano)

### 2.3.15. AA17 – RECURSOS HUMANOS

Número de empregados por mil ramais.

Número de empregados (afectos ao serviço das águas) = 260

Nº de ramais = 50000

Quadro 18 – Indicador AA17

Valor	Avaliação	Observações
5.2	●	O intervalo de referência deste indicador correspondente a um bom desempenho, situa-se entre 2.0 e 5.0 empregados/(10 <sup>3</sup> ramais . ano).

### 2.3.16. AA18 – INEFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Percentagem de água entrada no SAA que é perdida por fugas e extravasamentos.

Água de entrada no SAA = 25693558 m<sup>3</sup>

Perdas reais = 5447034 m<sup>3</sup>



Quadro 19 – Indicador AA18

Valor	Avaliação	Observações
21.2%	●	O intervalo de referência deste indicador, correspondente a um bom desempenho, situa-se entre 0 a 15%

### 2.3.17. AA19 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS

Consumo de energia médio normalizado das instalações elevatórias.

Quadro 20 – Indicador AA19

Valor	Avaliação	Observações
0.374	●	O intervalo de referência deste indicador, correspondente a um bom desempenho, situa-se entre 0.27 e 0.4 kWh/(m <sup>3</sup> . 100 m)

### 2.3.18. CONCLUSÕES

Em Portugal, ao nível da gestão de sistemas de abastecimento de água, ocorrem grandes ineficiências na gestão de sistemas em baixa. Da gestão municipal incorrem alguns problemas, nomeadamente ao nível das tarifas exageradamente baixas, que provocam políticas de desinvestimento e deterioração da qualidade do serviço prestado. A empresa municipal Águas do Porto, EEM é um exemplo do ponto de viragem (Martins, J.P. 2007), situando-se neste momento na fase de qualidade.

Como referido no subcapítulo 2.2, a Águas do Porto, EM foi fundada em 2006, daí decorre que alguns aspectos estejam ainda em fase de evolução.

Da avaliação anterior, pode-se destacar que a Águas do Porto, EEM possui uma boa cobertura da área metropolitana do Porto, distribui água com qualidade satisfatória, realizando todas as análises periódicas exigidas por lei, preocupa-se com a sustentabilidade ambiental e possui um controlo activo de perdas de destaque. Para além disto, é importante salientar que da criação da empresa municipal e da boa gestão que tem vindo a ser praticada, resultou a cimentação da solidez financeira da empresa, tendo recuperado dos prejuízos registados nos anos anteriores a 2006. Contudo, há vários aspectos a melhorar, nomeadamente o número excessivo de avarias, decorrentes da RAA herdada estar em grande parte devoluta e não estar ainda implementado um plano de gestão de activos. Apesar disto, pouco se tem feito para melhorar este campo, notando-se escassez considerável de reabilitação tanto de condutas como de ramais domiciliários, estando a decorrer concursos de novas empreitadas de grande escala.

Nota-se que não há registo de toda a informação dos resultados da exploração, tanto ao nível das reclamações respondidas como da reabilitação de condutas. Estas são áreas de intervenção de gestão complexa e encontram-se em processo de organização dentro da empresa.

No global, para uma EG de um sistema municipal em baixa, o serviço prestado é aceitável. Este é caracterizado pela intervenção forte no que respeita à resolução dos problemas da principal actividade operacional da empresa – gestão cuidada da rede de distribuição. Os defeitos encontrados são passíveis de serem colmatados a médio prazo, atendendo à solidez financeira da empresa.

## 3

## Pesquisa bibliográfica

## 3.1. NOÇÕES DE FIABILIDADE

## 3.1.1. DEFINIÇÃO DE FIABILIDADE DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O SAA é projectado para satisfazer o consumo das populações com eficiência até ao último ano do horizonte de projecto. Depois de captada, a água é transportada através das várias infra-estruturas incluindo os reservatórios, as ETA, as EE e as condutas (adutoras, distribuição e ramais domiciliários). Yang (1994) define que a fiabilidade do SAA é afectada pela capacidade de transporte da RAA e a relação entre o consumo e o abastecimento. A incerteza define-se pela incapacidade de prever onde vai ocorrer a avaria que provocará a interrupção de abastecimento.

Os principais factores que reduzem a fiabilidade do SAA são:

- Fontes de água insuficientes;
- Fontes de água de baixa qualidade ou de tratamento difícil;
- Falha nas condutas;
- Falha na ETA;
- Falhas nas bombas;
- Falha de energia nas EE;
- Exploração incorrecta;
- Falha nos reservatórios.

A probabilidade de estes acontecimentos ocorrerem em simultâneo é bastante reduzida. A relação entre as variáveis e o desempenho do SAA pode ser definida pela seguinte função:

$$F(T_i \dots T_n; E) \quad (2)$$

Em que: F = Fiabilidade

$T_i \dots T_n$  = Características dos componentes do SAA

E = Exploração

Para Yang (1994) o critério a usar para determinar a fiabilidade é:

- Cada ponto de consumo deverá garantir sempre, no mínimo, uma fonte de abastecimento.

Se este critério for cumprido, a função incumbida ao SAA de abastecer os clientes pode-se considerar desempenhada, caso contrário haverá descontentamento dos clientes servidos pela fonte de abastecimento que teve de ser desactivada.

As falhas mecânicas devem-se ao mau funcionamento físico dos componentes como, por exemplo as roturas em condutas e avaria de válvulas, o que desencadeia um factor altamente depreciativo na fiabilidade global do SAA. Por seu lado, as falhas de desempenho surgem quando as pressões e o consumo não são suficientes. Apesar dos muitos estudos, realizados ainda são escassos os índices de

fiabilidade capazes de serem implementados nas empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água, uns devido à complexidade matemática e outros devido à falta de metodologia de recolha de informação caracterizadora da exploração. Um dos indicadores de cálculo expedito, proposto pela IWA, indicado para avaliar a fiabilidade é o QS13. Este é um exemplo de um indicador de interpretação completa, mas a falta de metodologia, não permitiu ainda a total implementação. Por outro lado, a fiabilidade dos componentes tem um peso significativo na capacidade do SAA fornecer água sem interrupções. Esta dissertação, para além do QS13, abordará o impacto da falha física dos componentes na fiabilidade do SAA, estudando a probabilidade de cada ponto de consumo da rede de distribuição possuir pelo menos uma fonte de fornecimento aquando da necessidade da interrupção do abastecimento.

### 3.1.2. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA FIABILIDADE POR MODELAÇÃO HIDRÁULICA

Duckstein e Plate (1987), Mays *et al* (1989) e Yen e Tung (1993) apresentaram um elevado número de análises de fiabilidade, dando elevada importância à análise hidráulica. Estes trabalhos desenvolvidos são muito completos. No entanto, não são de implementação fácil nas empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água devido à sua complexidade, tanto matemática como informática.

Os métodos para avaliação da fiabilidade dividem-se em quatro tipos: análise de contingência, análise analítica de malhas, simulação de Monte Carlo e simulação analítica.

No primeiro método, análise de contingência, a RAA é considerada fiável se for capaz de manter o consumo sob estado de contingência. Este método é baseado numa avaliação qualitativa reflectindo o resultado de um determinado evento externo (por exemplo, avaria, catástrofe natural ou contaminação). A probabilidade da ocorrência do acontecimento não é considerada nesta análise. Este é um método intuitivo e subjectivo, pelo que não se obtém um resultado consistente.

No segundo método, análise analítica de malhas, é calculado um índice de fiabilidade hidráulica global. Esta abordagem concentra-se na fiabilidade total do SAA, segundo a probabilidade de não haver abastecimento suficiente a todos os clientes. Apesar de este providenciar dados internos da capacidade do SAA em função do padrão de consumo, é geralmente aplicado a sistemas de abastecimento de água de pequenas dimensões. Quando aplicado a sistemas de abastecimento de água de grande escala, há uma elevada complexidade matemática que o torna de cálculo difícil.

O terceiro método, simulação de Monte Carlo, é muito útil para avaliar a fiabilidade em vários domínios. Rubinstein (1981), Hentley e Kunamoto (1992) formularam a base do método. Este simula o desempenho do SAA em função de vários eventos, que poderão ser internos ou externos ao sistema. Cada simulação permite obter um índice de fiabilidade. As vantagens deste método são: 1) poder-se calcular vários índices através das simulações, 2) a aleatoriedade da captação, a falha dos componentes e o consumo podem ser incluídos na análise.

O último método, simulação analítica, é uma fusão entre o método de Monte Carlo e o método de análise analítica de malhas, combinando cálculo de probabilidades e aleatoriedade de falhas. Este deu origem a vários submétodos, como por exemplo, minimização das zonas isoladas, análise de duração frequência, entre outros. Contudo, o método de Monte Carlo tem uma vantagem sobre este método, porque pode ser usado para calcular o índice de fiabilidade da variável desejada (frequência, valor e duração). Ambos os métodos são aceites como adequados para o cálculo da fiabilidade.

Dentro da simulação analítica, o submétodo que tem como objectivo a minimização das zonas isoladas é preferível, porque estas estão directamente relacionadas com o impacto nos clientes das falhas de abastecimento, para além do método poder ser usado para prever possíveis falhas.

Jacobs e Goulter (1991) expuseram a elevada complexidade do uso do submétodo da minimização das zonas isoladas. Todavia, se a probabilidade de um componente falhar for pequena pode-se usar algumas aproximações. Vários autores, após alguns estudos, concluíram que este método é o mais eficaz e plausível.

Independentemente do método, é necessário conhecer a probabilidade dos componentes do SAA falharem, dado que o desempenho do sistema depende da aleatoriedade das falhas. As falhas em sistemas de abastecimento de água repercutem-se na interrupção do abastecimento. Baseado no histórico das roturas, é possível quantificar os factores que afectam as falhas das condutas. Cullinane (1985) usou o tempo para a primeira rotura e o tempo de reparação para avaliar a fiabilidade de estações elevatórias e de condutas. Goulter e Coals (1986) usaram o modelo homogéneo de Poisson para o cálculo da probabilidade das condutas falharem. Este aplica-se com maior precisão a condutas pouco deterioradas, existindo o modelo não homogéneo de Poisson, mais criterioso, para condutas deterioradas.

No Quadro 19, apresentam-se noções básicas que podem ser usadas para caracterizar os componentes do SAA. As infra-estruturas que compõem o SAA têm vindo a convergir ao longo dos anos em termos de materiais utilizados. Por exemplo, os reservatórios passaram a ser maioritariamente de betão armado, as condutas de distribuição, por factores económicos, passaram a ser de materiais fabricados de compósitos de plástico (por exemplo PEAD e PVC), podendo em certos casos serem em derivados de ferro (por exemplo em FFD para atravessamentos de faixas de rodagem), enquanto que as condutas adutoras, devido às maiores exigências de resistência, são geralmente em derivados de ferro (por exemplo FFD). A uniformização levou a que actualmente haja um vasto conhecimento do comportamento ao longo dos anos dos materiais usados, reduzindo a incerteza associada às falhas.

Quadro 21 – Comportamento das condutas e seus acessórios

Características comuns	Padrões de roturas	Materiais de rotura dúctil (plásticos) e rotura frágil (FFD, betão e fibrocimento)
	Desempenho ao longo das condutas	Desgastes conhecidos de visualizações de condutas com anos de serviço representativos
	Variabilidade de comportamento das condutas enterradas a diferentes profundidades	Importância da resistência à compressão diametral das condutas rígidas (FFD, Betão fibrocimento, etc) e da deflexão das condutas flexíveis (PEAD, PP, PVC, etc)
	Localização das singularidades	Ramais de ligação e acessórios (curvas, tês, forquilhas, etc)
Características dos materiais	Idade das condutas de FFD e FF	Corrosão praticamente inevitável
	Problemas estruturais nas condutas de betão e fibrocimento	Fissuras, entrada de raízes, perda de estanqueidade nas juntas com o passar do tempo, etc
	Conhecimento das condutas de plástico executados com soldaduras topo-a-topo	Fugas subterrâneas indetectáveis
Relatório da evolução de consumos, caracterização da envolvente e do funcionamento actual da RAA na zona de intervenção		

### 3.1.2.1. MODELO HOMOGÉNEO DE POISSON

Se os registos das roturas das condutas tiverem tendência monotónica, a RAA será não deteriorada. Então poder-se-á avaliar a fiabilidade através do modelo homogéneo de Poisson.

Aqui a fiabilidade pode ser medida através da probabilidade da avaria individual de uma conduta que é dada por:

$$P = 1 - e^{-\beta} \quad [\%] \quad (3)$$

$$\beta = \lambda \times l \quad [\text{avaría / ano}] \quad (4)$$

Em que:  $\beta$  = Número esperado de avarias por conduta por ano [avaría / ano]

$\lambda$  = Número esperado de avarias por conduta por ano por unidade de comprimento [avaría/ano . m]

$l$  = Comprimento da conduta [m]

Portanto, segundo Shinstine *et al.* (2002), a fiabilidade de uma conduta poderá ser medida da seguinte forma:

$$R = 1 - \sum_{i=1}^n (1 - ADF) \times P \quad [\%] \quad (5)$$

$$ADF = \frac{\sum Q^{avl}}{\sum D} \quad [\%] \quad (6)$$

Em que: ADF = Porção de consumo disponível [%]

$n$  = Número de condutas existentes na RAA

$Q^{avl}$  = Caudal afluyente do nó [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$D$  = Consumo do nó [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

A fiabilidade da conduta obtida na equação (5) possui a insuficiência de não considerar que as condutas são passíveis de serem reparáveis. Aprofundamentos do método foram efectuados por Ross (1985) e Cullinane (1985) acrescentando duas variáveis: o Tempo Médio Entre Avarias (MTBF) e o Tempo Médio de Reparação (MTTR):

$$ma = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad [\%] \quad (7)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda \times l} \quad [\%] \quad (8)$$

Em que  $ma$  significa disponibilidade mecânica. Para simplificar MTTR poderá ser considerado constante e igual a um dia. A indisponibilidade mecânica duma conduta é dada por:

$$mu = 1 - ma \quad [\%] \quad (9)$$

A probabilidade de todas as condutas da RAA estarem operacionais é dada por:

$$MA = \prod_{i=1}^n ma \quad [\%] \quad (10)$$

A probabilidade de uma conduita falhar e as restantes continuarem a funcionar é dada por:

$$u = MA \times \frac{mu}{ma} \quad [\%] \quad (11)$$

A probabilidade de duas condutas falharem e as restantes continuarem a funcionar é dada por:

$$u^1 = MA \times \frac{mu_i}{ma_i} \times \frac{mu_k}{ma_k} \quad [\%] \quad (12)$$

Finalmente, Fujiwara (1991) definiu a disponibilidade na RAA através da consideração dos efeitos de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem:

$$A = ADF^0 \times MA + \sum_{i=1}^n ADF^i \times u_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i}^n ADF^{ik} \times u_{ik} \quad [\%] \quad (13)$$

Em que:  $ADF^0$  = Porção de consumo disponível com a RAA completamente operacional [%]

$ADF^i$  = Porção de consumo disponível com a conduita i inoperacional [%]

$ADF^{ik}$  = Porção de consumo disponível com as condutas i e k inoperacionais [%]

### 3.1.2.2. ÂMBITO DOS ESTUDOS DE FIABILIDADE

As ferramentas de optimização de sistemas de abastecimento de água foram amplamente estudadas por Goulter (1987 e 1992). A meta da análise da fiabilidade é que esta seja incorporada na fase do projecto da RAA. Apesar da quantidade de estudos realizados, os avanços para a implementação em empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água ainda são escassos. Um exemplo de uma tentativa de implementação é o estudo de Goulter e Bouchart (1987) que propõe a optimização baseada no número máximo de roturas aceitáveis das condutas, atendendo aos constrangimentos financeiros provocados pela interrupção do abastecimento. Dentro das técnicas de optimização, a programação linear é a mais adequada para sistemas de abastecimento de água.

O desempenho do SAA pode ser interpretado pela sua capacidade de fornecer um serviço adequado aos clientes, desde a captação até à zona de consumo. Portanto, o desempenho do SAA não só se define pela disponibilidade mas também pela qualidade do serviço. O desempenho depende das variações de consumo, da interacção entre as condutas e o armazenamento e a fiabilidade individual dos componentes.

Apesar da análise da conectividade em malha ter um elevado peso no estudo da fiabilidade, também é importante a conectividade às fontes de abastecimento e a capacidade dos elementos de transporte. As

avarias nos reservatórios também estão associadas aos problemas de distribuição. Análises de curta duração são insuficientes para a descrever na íntegra a fiabilidade.

A determinação da fiabilidade mecânica dos componentes e do desempenho do sistema são independentes. Ambas são indispensáveis e não são exclusivas da análise de sistemas de abastecimento de água. A análise da fiabilidade da distribuição permite identificar os estrangulamentos do sistema e, deste modo, a fonte principal que provoca a interrupção pode ser identificada. Em conclusão, a fiabilidade mecânica e o desempenho do SAA devem ser desenvolvidos numa análise completa de fiabilidade.

### **3.2. INDICADORES DE DESEMPENHO PARA AVALIAR A EXPLORAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Alegre (2002) destaca a importância do SAA devido à fusão das suas características essenciais para a sustentabilidade da sociedade: é um serviço essencial para a saúde e bem-estar das populações; é uma actividade económica de monopólio que com uma boa gestão pode tornar-se de grande relevância. O sector da distribuição de água é um monopólio, uma vez que requer a construção e utilização de infra-estruturas, de compra e implantação onerosa, que não podem ser usadas por outras empresas gestoras em simultâneo, e consequentemente, as regras de concorrência do mercado não são aplicáveis. Para além disto, é relevante economicamente pois exige grandes investimentos e pode gerar proveitos significativos, pelo que se transformou num negócio apelativo para os investidores. Estas características têm uma relação muito próxima. Por exemplo, o desenvolvimento sustentável dos serviços depende de uma gestão eficiente das empresas.

Os sistemas de abastecimento de água têm-se expandido e desenvolvido tecnologicamente nos últimos anos. Tal facto deve-se ao aumento da procura e das expectativas dos clientes sobre o serviço. Por outro lado, o nível de desenvolvimento da actividade assume evolução empresarial mais lenta devido à falta de estímulo da concorrência de mercado. O crescimento da participação do sector privado, no caso nacional apenas na gestão, já que não há infra-estruturas privadas, e a necessidade do cumprimento dos objectivos traçados pelos accionistas, nomeadamente a recuperação a médio ou longo prazo dos seus investimentos como prioridade, levou algumas vezes a conflitualidade de interesses entre as empresas e os clientes, sobretudo devido às tarifas geralmente mais elevadas.

Em resumo, existe hoje uma forte exigência para a eficiência e boa qualidade do serviço. A ordem do dia é a motivação para a melhoria do desempenho em termos de organização e procedimentos de gestão, com o objectivo de satisfazer as necessidades e expectativas dos clientes, bem como os objectivos de foro ambiental, constituindo uma importante meta a médio prazo. Para isto, a ERSAR, para além da independência política e empresarial, necessita do desenvolvimento de uma metodologia capaz de avaliar as empresas. Uma proposta é a utilização de indicadores de desempenho. Na verdade, a utilização de um procedimento padronizado de avaliação de desempenho é um factor-chave para alcançar os objectivos traçados. O procedimento deve ser capaz de identificar quais são as fragilidades da EG que devem e podem ser melhoradas, tentar introduzir o conceito de competição de mercado e ajudar no estabelecimento de acordos contratuais que protejam os interesses dos clientes.

Alegre (2004) define os indicadores de desempenho como sendo referências para medir a eficiência e eficácia dos serviços públicos de abastecimento de água, através das características do tipo de exploração levado a cabo pela concessionária. A eficiência é uma medida do número de recursos usados para proporcionar o serviço ao cliente, enquanto a eficácia é uma medida do número de objectivos fixados, realmente alcançados pela EG do SAA. Cada indicador expressa um nível de

desempenho real atingido em função de determinadas variáveis e durante um período de estudo escolhido, permitindo uma comparação evolutiva ao longo dos diferentes períodos de estudo e avaliação do cumprimento dos objectivos visados.

O modelo de indicadores que irá ser abordado foi desenvolvido pela IWA. Segundo a IWA, qualquer indicador de desempenho deve ser definido como uma relação entre variáveis da mesma natureza resultando num valor adimensional (%), ou de naturezas diferentes resultando num valor dimensional ( $\text{€}/\text{m}^3$ ). O denominador representa uma característica da dimensão do SAA para permitir comparações ao longo do tempo. Mas, a dimensão do sistema sofre sucessivos aumentos com o passar do tempo. Variáveis que sofram alterações significativas entre períodos de estudo não devem ser colocadas em denominador, em particular se não houver o controlo rigoroso da EG, a menos que o numerador varie na mesma proporção.

Quadro 22 – Benefícios na implementação dos indicadores de desempenho (Alegre, H 2002)

Entidade	Benefício
Empresas de águas	Melhora a qualidade de resposta dos gestores
	Permite um maior acompanhamento do efeito das decisões tomadas
	Fornecer informações importantes para uma abordagem pró-activa de gestão, com menor dependência de disfunções do SAA (abordagem reactiva)
	Permite que sobressaiam os pontos fortes e fracos dos serviços, identificando a necessidade de medidas correctivas para melhorar a produtividade, procedimentos e rotinas
	Facilita a implementação de rotinas de benchmarking, tanto internamente, para comparar o desempenho em diferentes locais ou sistemas, e externamente, para comparação com outras entidades similares, promovendo melhorias no desempenho
Entidades reguladoras	Fornecer uma base técnica sólida para auditoria de funcionamento da organização
	Fornecer os índices para ajudar a salvaguardar os interesses dos consumidores, importante devido à situação de monopólio, e fiscalizar o cumprimento dos requisitos legais

Alegre (2002) define que um sistema de indicadores que pretenda ser universalmente aceite deve cumprir os seguintes requisitos:

- Representar as características da exploração inequivocamente e imparcialmente;
- Traçar o perfil dos resultados da gestão da empresa;
- Possuir um significado conciso e uma interpretação única para cada indicador;
- Ser baseado em medições fáceis de obter por uma EG de qualquer dimensão;
- Referir-se a um período de estudo não menor que um ano;
- Referir-se a uma única área geográfica.



Os indicadores de desempenho não podem ser adequadamente interpretados sem se ter presente que algumas das variáveis são afectadas por factores que não dependem da gestão, por exemplo, o custo para produzir água potável depende da disponibilidade e qualidade da água bruta, características intrínsecas ao meio ambiente. Isto é particularmente importante quando queremos comparar os resultados com os números de referência da literatura ou com resultados de outras empresas gestoras.

A avaliação dos indicadores de desempenho exige às empresas gestoras que recolham informações da sua actividade, com a máxima precisão possível. A informação pode ser obtida através de vários meios disponíveis na empresa, por exemplo, sistema de contabilidade, equipamentos de medição e sistemas de informação.

Os benefícios e potenciais usos de um sistema de indicadores de desempenho bem implementado são apresentados no Quadro 22.

Quadro 23 – Formas de aplicar os indicadores de desempenho (Alegre, H 2002)

Utilização pela empresa	Os gestores deverão utilizar os indicadores de desempenho para acompanhar a evolução da exploração, comparando os resultados obtidos num determinado período de estudo com aqueles obtidos em períodos anteriores homólogos. Os valores também podem ser comparados com valores de referência de outras organizações que têm sido publicados.
Utilização pela entidade reguladora	O aumento do envolvimento do sector privado na gestão dos sistemas de abastecimento de água exige uma responsabilidade acrescida dos órgãos reguladores. A adopção dos indicadores de desempenho promoverá uma espécie de concorrência entre as empresas. Normalmente, os indicadores de desempenho utilizados para centrar a regulamentação baseiam-se na qualidade do serviço. Os reguladores não avaliam os processos internos da empresa mas sim os resultados.
Utilização no controlo de cumprimento dos contratos de concessão	Os acordos contratuais entre os municípios e os concessionários privados são bastante detalhados em termos dos aspectos financeiros, mas tendem a ser menos específicos em termos da qualidade do serviço a ser prestado aos consumidores. O uso dos indicadores de desempenho permite traçar metas passíveis de serem auditáveis.
Utilização como garantia de qualidade	Os clientes ao requererem a instalação do serviço estabelecem um contrato com a empresa no qual é especificado os seus direitos e deveres. Os indicadores de desempenho servirão para avaliar: o cumprimento da pressão de serviço mínima no ponto de entrega, o tempo máximo para reparar avarias, o tempo máximo de resposta por escrito a queixas e a qualidade da água no ponto de entrega.

A implementação do sistema de indicadores de desempenho não implica a utilização de todos os propostos do manual de boas práticas da IWA. Recomenda-se que as entidades façam a selecção dos mais relevantes no seu contexto. Definem-se então três níveis de maior relevância de classes de prioridade na escolha dos indicadores:

- Nível 1 (N1): conjunto de indicadores de desempenho que fornece uma síntese da eficiência e da eficácia da EG;
- Nível 2 (N2): conjunto de indicadores de desempenho que permitem aprofundar N1;
- Nível 3 (N3): conjunto adicional de indicadores de desempenho, de maior detalhe específico, mas ainda relevantes para a gestão de topo.

O sistema de indicadores de desempenho proposto pela IWA abrange todas as áreas da exploração de sistemas de abastecimento de água com a divisão apresentada no Quadro 24.

Quadro 24 – Âmbito dos indicadores de desempenho (Alegre, H. *et al* 2004)

Indicadores de recursos hídricos	WR
Indicadores de recursos humanos	Pe
Indicadores infra-estruturais	Ph
Indicadores operacionais	Op
Indicadores de qualidade de serviço	QS
Indicadores económico-financeiros	Fi

Nesta dissertação serão abordados os indicadores de qualidade de serviço que medem a fiabilidade do abastecimento nomeadamente o QS13, QS14 e QS15, com maior destaque para o QS13. Estes incluem-se na seguinte hierarquia dos níveis enunciados anteriormente:

Quadro 25 – Prioridade dos indicadores que serão estudados (Alegre, H *et al* 2004)

Serviço	EG	Entidade Reguladora	Cliente
QS13 - Interrupções de fornecimento (%)	N2	N2	N2
QS14 - Interrupções por ramal (n.º/1000 ramais/ano)	N2	N2	N2
QS15 - Interrupções por ponto de entrega (n.º/ponto de entrega/ano)	N2	N2	N2

O indicador que uma EG de um SAA deveria usar para avaliar a sua qualidade de serviço directamente sobre os clientes seria o QS13 (interrupções de fornecimento):

$$QS13 = \frac{D35}{F1 \times H1 \times 24} \times 100 \quad [\%] \quad (14)$$

Em que: D35 = População sujeita a interrupção do fornecimento de água durante o período de referência a multiplicar pela duração da interrupção [Pop x h]

F1 = População total abastecida da zona estudada [Pop]

H1 = Duração do período de referência (recomendado um ano) [dias]

Este indicador é de cálculo complexo, pois a maioria das empresas gestoras não regista devidamente a informação necessária. Ele representa a percentagem de clientes que ficou sem água numa área geográfica, durante um intervalo de tempo dentro do período de estudo. O mais representativo será a escolha de um período de estudo largo, tal como dito anteriormente, H1 deverá ser no mínimo um ano, assim poder-se-á comparar a fiabilidade ao longo dos anos e estabelecer metas de melhoria,

nomeadamente com projectos de reformulação da RAA e recolher informações úteis para a gestão de activos (condutas e respectivos acessórios e os restantes componentes da RAA).

Dada a complexidade este vulgarmente poderá ser substituído pelo QS14 (interrupções por ramal):

$$QS14 = \frac{\frac{D36 \times 365}{H1}}{C24 \times 1000} \quad [n.^{\circ}/1000 \text{ ramais/ano}] \quad (15)$$

Em que: D36 = Número de interrupções do serviço [n°]

C24 = Número de ramais [n°]

Ou pelo QS15 (interrupções por ponto de entrega):

$$QS15 = \frac{\frac{D36 \times 365}{H1}}{E9} \quad [n.^{\circ}/\text{ponto de entrega/ano}] \quad (16)$$

Em que: E9 = Contadores de clientes distribuidores [n°]

Para Alegre (2004), os indicadores QS13 e QS14 só deverão ser aplicados para uma densidade de ramais  $\geq 20/\text{km}$  enquanto o QS15 só deverá ser aplicado para uma densidade de ramais  $< 20/\text{km}$ .

O problema dos índices QS14 e QS15 é que não fornecem informação que analise a fiabilidade global do SAA, isto é, fazem uma análise discreta, obtendo um índice dimensional que não reflecte o funcionamento do SAA. Em suma, não determinam a real percentagem da RAA que falhou ao longo do período de estudo, sendo assim necessário formular uma metodologia que permita o cálculo do QS13.

### 3.2.1. CONSIDERAÇÕES PARA LIMITES ADMISSÍVEIS DAS VARIÁVEIS DO QS13

A variável D35 da equação 14 resulta da multiplicação entre o número de clientes afectados por um corte de água e o tempo de afectação. O número de clientes afectados é linearmente dependente do número de clientes ligados ao troço isolado, dependendo este do esquema de válvulas incorporado na RAA. O tempo de afectação é composto pela soma de duas parcelas: (1) ocorrência da avaria e detecção desta; (2) interrupção do abastecimento por accionamento das válvulas de seccionamento. A primeira parcela é incontrolável, tendo um carácter perfeitamente aleatório, e será tanto menor quanto maior a capacidade de resposta da empresa. A actuação da empresa face às avarias poderá ser reactiva (actua apenas na ocorrência de uma reclamação) ou activa (actua por iniciativa própria na sequência de inspecção à sua RAA). A segunda parcela é directamente proporcional à gravidade da avaria e aos condicionalismos externos da reparação (por exemplo, profundidade da conduta, tráfego e condições meteorológicas).

Assim, para além da necessidade do cálculo efectivo do QS13, a EG poderá implementar alguns critérios de referência para promover o controlo do desempenho do seu SAA, tanto na fase de projecto como na fase de exploração da RAA.

Para minimizar o número de clientes afectados em cortes de abastecimento a EG, deverá:

- Na fase de exploração - reduzir os troços de condutas, optimizando a colocação das válvulas de seccionamento e emalhando a RAA, com o objectivo de minorar o número de clientes afectos a cada conduta;
- Na fase de projecto - garantir o exposto anteriormente, através de uma atitude preventiva.

Para minimizar o tempo de afectação por cortes de abastecimento a EG deverá:

- Na fase de exploração: aumentar o número de pessoal destacado para as reparações, organizar o sistema de recolha e processamento de reclamações, efectuar inspecção activa da RAA.

O tempo de afectação não tem componente que se insira na fase de projecto, existindo apenas na fase de exploração. Todos os clientes são importantes, pelo que a EG deverá garantir que nenhum cliente fique, no máximo, mais de um dia sem água por cada corte de abastecimento. A percentagem total do tempo de afectação durante o período de estudo (admitido um ano) deverá ser o mais próximo possível de zero, considerando-se aceitável um máximo de 0.82% (três dias por ano sem serviço).

Em conclusão, considera-se aceitável um valor global máximo do QS13 de 5% (significando que a RAA teve uma fiabilidade de 95%).

### 3.3. COLOCAÇÃO DE VÁLVULAS NA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Deb *et al* (2006) alertam para a importância das válvulas nos sistemas de abastecimento de água. Estas têm vindo a assumir um papel de relevo, devido às preocupações recentes de proteger em caso de contingências, isolar em caso de avaria e efectuar limpeza dos subsistemas da RAA. As válvulas servem para dois propósitos: o controlo de caudal e o controlo de pressão. As mais usadas para o seccionamento da RAA são as de cunha e borboleta. Na ocorrência de uma avaria numa conduta (por exemplo, rotura, avaria de juntas ou avaria de acessórios), estas são accionadas, isto é, com recurso à manobra de um parafuso é possível torná-las estanques para isolar o troço e proceder à reparação. O isolamento deve procurar que o número de clientes sem serviço seja mínimo.

As válvulas agrupam-se em quatro categorias principais, designadamente válvulas de seccionamento, válvulas de controlo de pressão e caudal, válvulas de descarga para limpeza e válvulas para expelir ar acumulado nas condutas.

O funcionamento apropriado das válvulas ao longo do tempo é directamente proporcional à sua manutenção. Hoff (1996) redigiu um manual de boas práticas para manutenção de válvulas, onde constam procedimentos para seleccionar as válvulas apropriadas e mantê-las operacionais para quando necessárias. Skousen (1997) é uma referência na selecção de válvulas, providenciando no seu manual informações completas sobre o funcionamento das válvulas, instalação e manutenção. Whittaker e Arscott (1997) descrevem os potenciais problemas em identificar, seleccionar, operar, monitorizar e guardar o registo das válvulas. Eles destacam empresas do Reino Unido que se uniram a empresas de electrónica para instalar *data logger's* nas válvulas. Estes módulos de registo armazenam um código de identificação da válvula, tipo de válvula (modo de funcionamento), percentagem de abertura, sentido de abertura e posição operacional habitual. Wilson e Garbark (2002) elaboraram um *case study*, estudando a localização das válvulas instaladas numa RAA, e desenvolveram um programa de limpeza, um teste de funcionamento e reparação de válvulas. Apresentaram os benefícios de um programa activo de manutenção e controlo das válvulas, sendo estes traduzidos em ganhos económicos para a EG do SAA. Neste contexto, um programa de manutenção de válvulas só será eficaz se estas forem localizáveis no terreno, estiverem georreferenciadas e a informação sobre elas fique armazenada. Eles testaram em redes de abastecimento de água de grande escala um plano de manutenção de válvulas com duas equipas de manutenção, tendo sido bem sucedidos. Quando o número de válvulas aumenta, os autores sugerem que deverá ser criada uma equipa específica para manutenção de válvulas, enquanto outra continua com a localização, limpeza e avaliação de funcionamento.

A posição das válvulas na RAA é directamente relacionável com a fiabilidade global do SAA (Goulter 1992). O aumento do número de válvulas diminui o comprimento do troço isolado, logo diminui os clientes afectados. Recomenda-se o aumento do número de válvulas com o objectivo de aumentar a fiabilidade do SAA (Bouchart e Goulter 1991).

Walski (1993) define a porção da RAA que pode ser isolada com o fecho de válvulas como sendo uma Secção. Tal Secção será apenas uma conduta se esta possuir uma válvula em cada extremo, caso contrário será necessário fechar válvulas de condutas adjacentes. Não mais de quatro válvulas devem ser fechadas para isolar uma conduta (Mays 2004). Su *et al* (1987) desenvolveram uma metodologia para minimizar a Secção isolada aquando da avaria de uma conduta. A Secção mínima ocorre quando no corte de abastecimento, todos os seus elementos constituintes têm de falhar.

Shea (1991) reporta no seu estudo o programa de manutenção de válvulas da *Boston Water and Sewer Commission*, dos Estados Unidos da América, como sendo um exemplo a seguir por outras empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água. Deste programa, pode-se destacar as seguintes particularidades:

- Perdas: quando ocorre uma avaria, válvulas danificadas resultam numa perda significativa de água;
- Danos materiais: queixas poderão levar a mais despesas que um ano de manutenção;
- Mão-de-obra: válvulas avariadas provocam desperdício de tempo das Equipas de Reparação (ER) à procura de válvulas funcionais.

As válvulas poderão ser contornadas por *by-pass*'s de modo a satisfazer grandes consumidores, por exemplo, hospitais, não podendo haver interrupção de abastecimento. Estes são casos particulares que a EG deverá gerir com precaução.

Para um controlo adequado da exploração, a EG do SAA deve possuir um inventário actualizado e computadorizado, nomeadamente com recurso a Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Coate (2003) desenvolveu um programa em plataforma SIG para simular o fecho de válvulas e analisar a dimensão das zonas desligadas, permitindo assim identificar zonas críticas da RAA. Idealmente, todas as empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água deveriam periodicamente efectuar uma análise à sua rede, com o intuito de traçar um mapa das zonas que provocam isolamentos de grande dimensão em termos de clientes. Evitariam assim, canalizar os esforços na remodelação reactiva de condutas baseada no histórico de roturas, e concentrar-se-iam em substituições pró-activas, eliminando os pontos fracos da RAA que afectam a fiabilidade.

### 3.3.1. IMPACTO DA AVARIA DE VÁLVULAS NA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As válvulas de seccionamento desempenham no SAA o papel crucial de isolar uma parte do sistema. Em geral, o isolamento de um troço é efectuado através do fecho de uma série de válvulas. A fiabilidade total do SAA depende do número de válvulas fechadas e da própria fiabilidade das válvulas. O número de válvulas a fechar para isolar um troço está associado à distribuição destas na RAA.

A fiabilidade individual das válvulas é geralmente desconhecida até que se tente de facto accioná-la. A AWWARF e KIWA (2001) definem a fiabilidade das válvulas pelos seguintes aspectos: (1) Encontrarem-se devidamente identificadas e conseguirem ser encontradas qualquer que seja a condição meteorológica; (2) Estarem devidamente acessíveis, isto é, não haver obstáculos sobre as tampas (geralmente designadas de tectos móveis); (3) Estarem operacionais, isto é, não ter a haste partida ou dobrada, a porca arredondada ou não se encontrarem obstruídas não garantindo a total estanqueidade. Como exemplo, a empresa *Boston Water and Sewer Commission* estimou a fiabilidade das válvulas da sua RAA pelo que chegou à conclusão que cento e vinte das duas mil e oitocentas válvulas instaladas não estavam funcionais o que equivaleria a uma fiabilidade de 95.8% (duas mil seiscentas e oitenta válvulas operacionais). Além disso, foi constatado que um grande número de

válvulas possuía fugas, de modo que a fiabilidade seria um pouco inferior ao estimado, não dependendo unicamente da operacionalidade.

Nota-se que quando uma válvula não funciona correctamente é necessário fechar as válvulas das condutas vizinhas provocando um isolamento de maior dimensão. Assim, a falha de uma válvula provocará certamente um número superior de clientes afectados e a quantidade de água desperdiçada é maior.

Na problemática “onde colocar as válvulas?”, o número de clientes afectados é o ponto-chave a ter em conta, devido à sua insatisfação, para além da perda monetária considerável. Usando a RAA exemplo da Fig.17, poder-se-á tirar algumas conclusões.

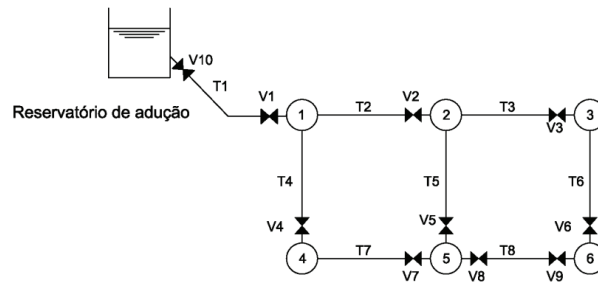


Fig.17 – Esquema de uma RAA exemplo

Atendendo ao esquema de válvulas hipotético é facilmente compreensível, como referido anteriormente, que na ocorrência de uma rotura numa determinada conduta ou uma avaria em qualquer um dos componentes associados é estritamente necessário isolar uma zona através do fecho das válvulas correspondentes. Esta irá ser denominada de Secção.

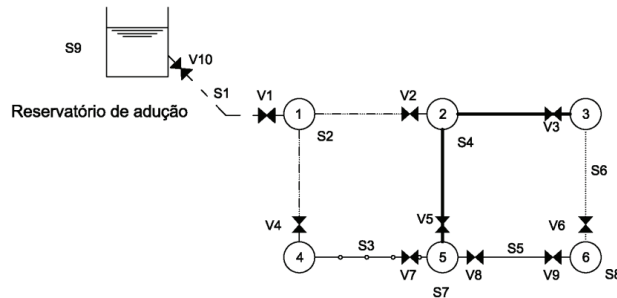


Fig.18 – Esquema das Secções isoláveis da RAA exemplo

A Secção poderá ser constituída por uma só conduta, por exemplo a conduta T8, ou por mais que uma, por exemplo as condutas T3 e T5. No entanto, também poderá ser constituída por um Nó, por exemplo N5, introduzindo-se assim o conceito de Nó-Secção. Este simboliza um Nó em que todas as condutas concorrentes nele possuem uma válvula na extremidade ligada (Fig.18). Na realidade da exploração da RAA, estes Nós simbolizam união de condutas onde poderão estar ligados marcos de incêndio, dispositivos de rega ou lavagem de ruas, fontanários ou reservatórios. No entanto, também poderão estar ligados ramais domiciliários. O isolamento dos Nós-Secção, tal como nas condutas, implica o corte do abastecimento aos componentes ligados, podendo este ser efectuado de forma voluntária, para reparação dos componentes, ou de forma involuntária, quando foram isoladas Secções adjacentes devido à avaria ou omissão do fecho de válvulas.

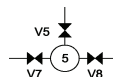


Fig.19 – Exemplo de um Nó-Secção

Na Fig.18 mostram-se todas as Secções isoláveis possíveis da RAA exemplo. Conclui-se que há nove Secções isoláveis, de entre as quais seis são compostas por condutas e três por Nós. Tal como introduzido anteriormente, o número de condutas que as compõe depende do posicionamento das válvulas na RAA. No Quadro 26 mostram-se as válvulas que são necessárias fechar para cada Secção.

Quadro 26 – Secções isoláveis da RAA exemplo

Secção isolada	Conduta/Nó	Válvulas necessárias para isolar a Secção
S1	T1	V1 e V10
S2	T2 e T4	V1 e V2 e V4
S3	T7	V4 e V7
S4	T3 e T5	V2 e V3 e V5
S5	T8	V8 e V9
S6	T6	V3 e V6
S7	N5	V5 e V7 e V8
S8	N6	V9 e V6
S9	Reservatório	V10

A RAA exemplo da Fig.17 será usada para explicar o impacto da falha de uma válvula no funcionamento global do SAA. O número de clientes sem abastecimento é usado para quantificar o impacto da falha. O índice de importância das válvulas será definido como a percentagem de clientes adicionais afectados devido à falha de uma válvula.

Quadro 27 – Clientes afectados pelo isolamento de cada Secção da RAA exemplo

Secção isolada	Conduta	Clientes afectados ao elemento	Clientes afectados involuntariamente	Clientes totais afectados com o isolamento da Secção
S1	T1	0	375	375
S2	T2 e T4	10 e 50	315	375
S3	T7	100	0	100
S4	T3 e T5	30 e 45	0	75
S5	T8	70	0	70
S6	T6	70	0	70
S7	N5	0	0	0
S8	N6	0	0	0
S9	Reservatório	0	375	375

Tomando o Quadro 27, onde se indica o número de clientes afectos a cada conduta/Nó e afectados com o isolamento da Secção correspondente, verifica-se que, por exemplo, se for necessário isolar a Secção S6 é preciso fechar as válvulas V3 e V6. Se a válvula V6 funcionar mas V3 não, duas válvulas adicionais, V2 e V5, têm de ser fechadas. As válvulas V2 e V5 pertencem à Secção S4, logo para além da Secção S6 também será isolada a Secção S4. Devido à falha da válvula V3, os setenta e cinco clientes da Secção S4 também serão afectados. Portanto, uma rotura na conduta T6 com avaria da válvula V3 afectaria cento e setenta e cinco clientes. Mais clientes poderão ser afectados se as válvulas V2 ou V5 se encontrarem avariadas. Por outro lado, se a conduta T3 tivesse uma válvula junto ao Nó 2, e se esta se encontrasse funcional, apenas teriam sido afectados cento e trinta clientes.

Quadro 28 – Clientes que cada válvula da RAA exemplo separa e Índice de importância de cada uma

Válvula	Secção 1	Clientes afectados	Secção 2	Clientes afectados	Índice de importância das válvulas (Máx.{Secção 1;Secção 2} / Total de clientes da RAA) (%)
V1	S1	375	S2	375	100
V2	S2	375	S4	75	100
V3	S4	75	S6	70	20
V4	S2	375	S3	100	100
V5	S4	75	S7	0	20
V6	S6	70	S8	0	18.67
V7	S3	100	S7	0	26.67
V8	S5	70	S7	0	18.67
V9	S5	70	S8	0	18.67
V10	S1	375	S9	0	100

Assim, conclui-se que a falha de uma válvula representa um número considerável de clientes adicionais afectados e que deverá ser criteriosa a escolha do seu posicionamento na RAA. O índice de importância de cada válvula (Quadro 28) poderá ser tomado como referência para sustentar planos de remodelação do esquema de válvulas instaladas na RAA. Explicar-se-á com maior detalhe como interpretá-lo no capítulo 6. Na realidade da exploração da RAA, a falha de uma válvula poderá ser sinónimo de omissão do fecho pelas ER devido a uma série de factores, como válvulas não localizáveis [por exemplo, devido a pavimentação sobre o tecto móvel e automóveis estacionados impedindo o acesso ao tecto móvel (Fig.I.3)] e erro das ER. Contudo, dever-se-á ter presente que a probabilidade de estes condicionalismos ocorrerem é elevada.

O posicionamento estratégico das válvulas é directamente relacionável com o incremento da fiabilidade da RAA, reduzindo o impacto em termos de clientes de cada avaria. Em geral, o posicionamento das válvulas é decidido na fase de projecto da RAA. No entanto, também poderá ocorrer que as empresas gestoras sintam a necessidade de reformularem o posicionamento das mesmas nas suas redes de abastecimento água com o intuito de aumentarem a fiabilidade. Dois métodos podem ser seguidos para definir os posicionamentos, denominados de N e N-1. Os métodos N e N-1 estão universalmente aceites pela comunidade científica, tendo já uma vasta aplicação. O primeiro método, N, refere-se à colocação de válvulas em todas as condutas concorrentes num Nó, ou seja, cada conduta



terá sempre uma válvula em cada extremidade. Pelo contrário, o segundo método, N-1, refere-se à colocação de válvulas em todas as condutas concorrentes no Nó, excepto uma. Com a regra N aplicada à RAA, qualquer conduta poderá ser isolada *per si*, enquanto o método N-1 implicará forçosamente condutas com apenas um extremo munido de válvula, pelo que será praticamente sempre necessário fechar mais de três válvulas para isolá-la, para além de que no estudo de implantação, dever-se-á ter o cuidado para que nenhuma conduta sem válvula nos dois extremos, pois é uma situação passível de ocorrer. Num SAA ideal, cada conduta tem uma válvula em cada extremidade. Em condutas de grande diâmetro, por exemplo adutoras, deverão ser colocadas válvulas ao longo da conduta que deverão ter manutenção adequada e cuidados especiais. Para além destes métodos, a AWWARF e KIWA (2001) sugerem que para zonas comerciais o afastamento entre válvulas deverá ser menor que cento e cinquenta metros e nas restantes zonas menor que duzentos e quarenta metros, pelo menos duas válvulas em tês, pelo menos três válvulas em cruzamentos de quatro condutas e não deve ser necessário fechar mais do que quatro válvulas para isolar uma Secção.

De facto, equipar uma conduta com uma válvula em cada extremo é a configuração que confere maior fiabilidade, apesar de esta reflectir-se num custo pesado para o investidor, razão pela qual em muitos casos não é usada. A dualidade custo/fiabilidade deverá então ser considerada com enfoque.

Quadro 29 – Métodos de posicionamento de válvulas N e N-1

Método	Exemplo
N	
N-1	

Colocar mais válvulas resulta em custos elevados e necessidade de maior manutenção. Poder-se-á desenvolver uma solução mista N/N-1 para obter o melhor custo/benefício. Deb *et al* (2006) sugerem que a escolha da colocação das válvulas deverá ter em conta: (1) aplicação do método N para zonas muito povoadas e quando não há certeza da fiabilidade das válvulas; (2) com válvulas de alta fiabilidade, cerca de 90%, poder-se-á usar o método N-1. Esta representa a solução de maior custo/benefício.

Uma das técnicas para aumentar a fiabilidade de uma RAA é reformular o esquema de válvulas. O problema é como decidir, já que o número de combinações possíveis pode ser elevado. Por exemplo, para a RAA da Fig.17, há quinze posições possíveis para colação de válvulas. Dentro destas, apenas nove estão em uso, portanto sobram seis posições possíveis para a colocação de novas válvulas. Admitindo que vão ser colocadas duas válvulas a combinação de soluções será:

$$nC_r = \frac{n!}{r! \times (n-r)!} = 6C_2 = \frac{6!}{2! \times (6-2)!} = 15 \quad (17)$$

Isto significa que há mais combinações possíveis para colocar duas novas válvulas do que posições disponíveis. Contudo, esta RAA exemplo é significativamente pequena, se fosse uma RAA à escala

real o número de combinações seria finito mas muito grande. Por isso sugere-se os dois critérios seguintes para restringir as combinações para novas válvulas: (1) seleccionar as Secções candidatas a colocação de válvulas, ou seja, as de maiores dimensões porque efectivamente em caso de avaria obrigam mais clientes a ficarem sem serviço; (2) não seleccionar Secções que contenham uma conduta conectora, isto é, uma conduta que estabelece a única ligação entre a fonte de abastecimento e subsistemas da RAA.

Observando a Fig.20, conclui-se que as condutas T9 e T10 não devem ser seccionadas, uma vez que a adição de válvulas não provoca nenhum aumento de fiabilidade. No caso de uma rotura em T9 ou T10, o aglomerado de clientes existente na malha adjacente ficará sempre sem água, pelo que poder-se-á chamar de Isolamento Involuntário. Por outro lado, nem sempre será assim tão claro considerando a RAA da Fig.21. Deduz-se que se houver uma rotura na condução T11, o abastecimento é cortado ao aglomerado abastecido por T10 e os afectos a esta inclusive. Por isso, neste caso, a colocação de uma válvula na outra extremidade de T11 provocaria um aumento significativo de fiabilidade já que o abastecimento poderia continuar a ser efectuado por T9. É claro também que a colocação de uma válvula na outra extremidade da condução T10 é irrelevante ao nível do desempenho.

Com estas noções, conclui-se que a escolha da localização das válvulas é importante e não possui uma única solução. Dado que estas representam um custo considerável de investimento, o estudo localização/número deverá ser criterioso, tentando alcançar o esquema que confere maior fiabilidade. Para além disto, corrobora-se a necessidade de a EG do SAA conhecer as suas zonas críticas.

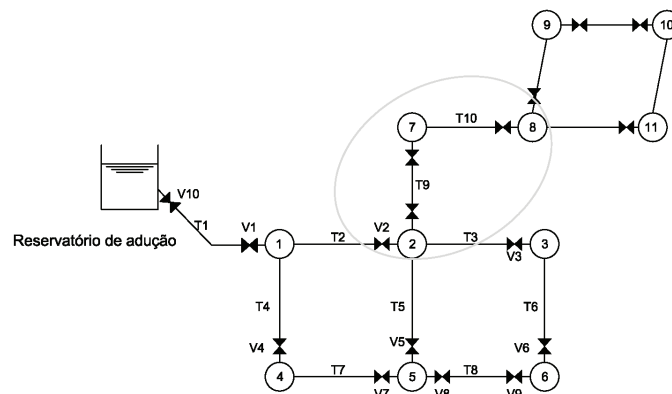


Fig.20 – Exemplo de uma conduta conectora

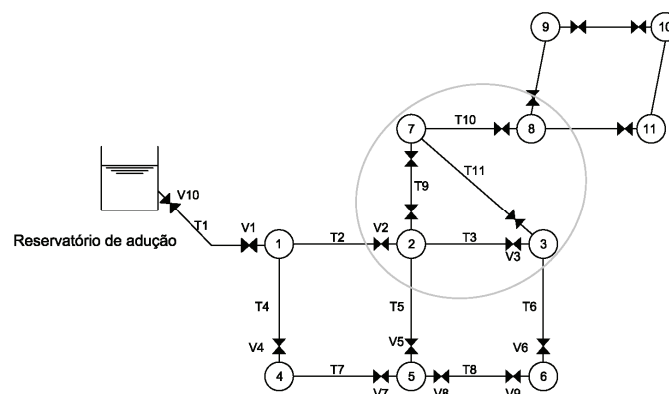


Fig.21 – Exemplo de uma conduta conectora emalhada

### 3.4. INDICADORES DE DECISÃO NA REFORMULAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO ÁGUA

Deb *et al* (2006) definem que idealmente as Secções isoláveis devem ser tanto mais pequenas quanto possível. Todavia, à medida que a Secção diminui, o número de válvulas na RAA aumenta. Tal facto aumenta o custo de investimento e ainda mais de manutenção. A decisão de quantas válvulas instalar na RAA deve ter em conta os seguintes factores: custos de instalação, custos de manutenção, corrosão e impactos na qualidade da água e benefícios produzidos pela configuração na RAA. A problemática do isolamento de condutas pode ser dividida em duas categorias: análise e planeamento. Na análise, o SAA é avaliado baseado na configuração de válvulas implantadas. No planeamento, estuda-se a localização óptima de válvulas que poderão vir a ser instaladas (fase de projecto ou remodelação da RAA). O objectivo de ambas é otimizar a dualidade custo *versus* benefício.

Deb *et al* (1995) formularam uma estrutura de indicadores que pretende definir a RAA em função da sua estrutura de válvulas. Estes têm como objectivo encontrar as fragilidades da RAA e assim ajudar na formulação de planos remodelação e novos projectos. Para os indicadores a seguir, é difícil encontrar o valor ideal. No entanto, os valores aproximar-se-ão do ideal quando as válvulas forem colocadas segundo o método N. Esta solução provocará um maior controlo da RAA, mas poderá não ser a mais económica.

- Comprimento médio de uma Secção:

$$l_a = \frac{\sum l_s}{n_s} \quad [\text{m} / \text{secção}] \quad (18)$$

Em que:  $l_s$  = Comprimento das Secções [m]

$n_s$  = Número de secções existentes na RAA

Este indicador identifica o comprimento médio de condutas sem água em caso de rotura.

- Número médio de válvulas por conduta:

$$VPC = \frac{\text{número de válvulas na RAA}}{\text{número de condutas na RAA}} \quad [\text{válvula} / \text{conduta}] \quad (19)$$

Num SAA ideal, este valor deverá ser dois, para isto as condutas deverão ter duas válvulas cada (método de colocação de válvulas N).

- Número médio de válvulas a fechar para isolar uma Secção:

$$V_a = \frac{\sum V}{n_s} \quad [\text{válvula} / \text{secção}] \quad (20)$$

Em que:  $V$  = Número de válvulas a fechar para isolar uma secção

Idealmente deverá ser próximo de dois. Quanto maior este valor, menor a probabilidade de se conseguir isolar uma conduta.

- Rácio comprimento de condutas por válvula:

$$LVR = \frac{\text{comprimento total das condutas distribuidoras}}{\text{número de válvulas}} \quad [\text{m} / \text{válvula}] \quad (21)$$

O valor ideal deste indicador é metade da média do comprimento das condutas

- Impacto da avaria de uma válvula em termos de consumidores adicionais sem serviço (índice de importância das válvulas):

Clientes afectados devido ao isolamento de Secções adjacentes e a isolamentos involuntários, provocados pela falha de válvulas.

- Fiabilidade média do isolamento de uma Secção:

Se quatro válvulas são necessárias para isolar uma Secção e a fiabilidade de cada válvula for de 95%, a fiabilidade de isolar a Secção é  $95\%^4 = 81.45\%$ . Para a RAA ideal apenas duas válvulas serão necessárias para isolar a Secção, logo a fiabilidade é  $95\%^2 = 90.25\%$ .

- Número médio de condutas por Secção:

$$PS = \frac{\sum \text{número de condutas por secção}}{n_s} \quad [\text{conduta / secção}] \quad (22)$$

Para o SAA ideal, o número de condutas médio por Secção é um.

- Comprimento total de conduta em Secções:

$$l_{ps} = \frac{\text{comprimento total de condutas}}{n_s} \quad [\text{m / secção}] \quad (23)$$

Quanto mais baixo o valor de  $l_{ps}$ , maior será a fiabilidade.

### 3.5. CONCLUSÕES DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Tomando o capítulo 2 como referência e relacionando-o com a pesquisa bibliográfica anterior, constata-se que o SAA envolve a interacção de diversos componentes em simultâneo. Desde a captação até ao cliente final, a água é transportada através de várias infra-estruturas de dimensões e modos de funcionamento que poderão ser muito diferentes entre si. O bom desempenho do SAA está sujeito a uma elevada incerteza que tende a aumentar com o envelhecimento, tanto por deterioração como por falta de manutenção, dos componentes do sistema. A probabilidade de este ter um funcionamento sem interrupção é chamada de fiabilidade. A fiabilidade é relacionável com os clientes abastecidos e a configuração e manutenção da RAA.

Quanto maior a fiabilidade da RAA, maior a satisfação dos clientes abastecidos, daí que cedo os autores começaram a desenvolver estudos para a sua quantificação. Os estudos foram elaborados com a premissa: a meta para os estudos da fiabilidade é criar ferramentas de cálculo capazes de serem introduzidas na fase de projecto e para avaliação em fase de exploração da RAA. Os primeiros estudos elaborados, que mais tarde sofreram forte desenvolvimento, baseavam-se na modelação hidráulica, como por exemplo o modelo homogéneo de Poisson. Estes são de grande complexidade matemática e informática devida ao elevado número de combinações, variáveis e escalas temporais envolvidas.

A IWA publicou os indicadores de desempenho (metodologia também adoptada pela ERSAR) devido à necessidade de avaliar a exploração levada a cabo por uma EG de um SAA (incluindo a fiabilidade). Os indicadores propostos têm como objectivo o cálculo matemático expedito e serem compostos por variáveis da exploração. Portanto, a sua determinação dependerá unicamente da recolha dos dados relativos às práticas de exploração. Deste conjunto de indicadores, aquele que mede a fiabilidade é o QS13. Porque possui uma interpretação completa. Mas, não tem sido usado pelas empresas gestoras devido à complexidade de agilização da recolha dos dados.

Para além disto, encontra-se na ordem do dia a problemática da colocação de válvulas na RAA devido à sua relação directa com a fiabilidade (afecção de clientes aquando do isolamento de um troço). Vários estudos têm sido elaborados sobre este tema com o intuito de proporcionar a avaliação da distribuição na RAA tanto de válvulas instaladas (fase de exploração) como de válvulas a instalar (fase de projecto).



# 4

## Âmbito e objectivos

### 4.1. ÂMBITO

No decorrer do estudo, constatou-se que o número de válvulas e a sua distribuição na RAA são determinantes para a fiabilidade do sistema. No entanto, na generalidade dos sistemas de abastecimento de água concebidos actualmente, não são tidas em conta com a devida importância.

O registo horário das válvulas fechadas para as reparações permite o cálculo do QS13. Por outro lado, a manutenção activa das válvulas e o armazenamento das intervenções efectuadas nelas (substituição e reparação), permitem diminuir as perdas de água, reduzir os custos de substituição e aumentar a satisfação dos clientes.

A presente dissertação realizou-se em ambiente empresarial na Águas do Porto, EEM. Deste modo, foi autorizado o uso do sistema de recolha de dados da exploração existente, como ponto de partida para a formulação da metodologia do cálculo do QS13. Para além disto foi dada a oportunidade de analisar, o projecto piloto em desenvolvimento correspondente à Rua Paulo da Gama e sua envolvente, aplicando o modelo SVM.

### 4.2. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO

Tendo presente o exposto anteriormente, os objectivos parcelares desta dissertação serão: (1) Formular uma metodologia de recolha de dados que permita às empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água calcular o índice de fiabilidade QS13; (2) Expor a relação entre a colocação de válvulas na RAA e a fiabilidade global do SAA, usando o SVM aplicado a um caso de estudo correspondente ao subsistema da rede distribuição da Águas do Porto, EEM – Rua Paulo da Gama e sua envolvente.



# 5

## Metodologia de cálculo do QS13

### 5.1. METODOLOGIA PROPOSTA PARA O CÁLCULO DO QS13: REGISTO DOS DADOS A CADA ROTURA

Um dos objectivos parcelares desta dissertação é formular uma metodologia de recolha e tratamento de dados que permita à EG de um SAA, independentemente da dimensão (tanto da empresa como do sistema), determinar o indicador de desempenho QS13. Deste modo a metodologia deve servir genericamente a todas as empresas gestoras com eficácia e coordenação.

Preliminarmente, é necessário discriminar as variáveis envolvidas no QS13. De importância fulcral porque representa a fatia afectada, o numerador é obtido através da multiplicação entre os clientes afectados na zona de estudo por um corte de abastecimento e o tempo durante o qual estes ficaram sem serviço. Por outro lado, o denominador é dado pela multiplicação entre os clientes totais existentes na área a estudar e o tempo total de estudo, aconselhado pelo menos um ano (sendo este o mais conveniente para poder comparar evoluções de desempenho dos activos, juntamente com a análise económica anual).

Numa dada zona de estudo, o resultado do denominador é facilmente determinável. Nem sempre é assim, isto é, uma EG com um nível de eficácia aceitável possui um cadastro georeferenciado (Fig.22), geralmente em SIG, mais ou menos rigoroso, contendo o desenho de implantação no mínimo da área abrangida, das condutas de distribuição e adutoras (com a informação dos diâmetros, materiais e ano de implantação), ramais de ligação domiciliários e respectivos contadores com facturação associados a estes (aglomerados em pontos de consumo), números de polícia de todas as habitações, todas as válvulas de seccionamento e acessórios (hidrantes, juntas cegas, válvulas redutoras de pressão, ventosas, válvulas de descarga de fundo, etc) e de todas as infra-estruturas de exploração (reservatórios, EE, câmaras de manobra, etc). Um cadastro completo e actualizado constitui uma mais-valia para a EG. Depreende-se que só se a actualização for regular é que se consegue facilmente, ao fim do período de estudo arbitrado, fazer um balanço dos clientes totais existentes em determinada área geográfica, para além desta ser fundamental para determinar a afectação por cada corte de abastecimento.

Anteriormente, foram introduzidos termos chave para o cálculo do QS13, nomeadamente SIG (levantamento cadastral) e pontos de consumo. Entende-se por ponto de consumo o conjunto de clientes abastecidos pelo mesmo ramal domiciliário, por exemplo num prédio R/C+4 com três apartamentos por piso (excepto no R/C), com todos os contadores activos, o ponto de consumo terá doze contadores/clientes.



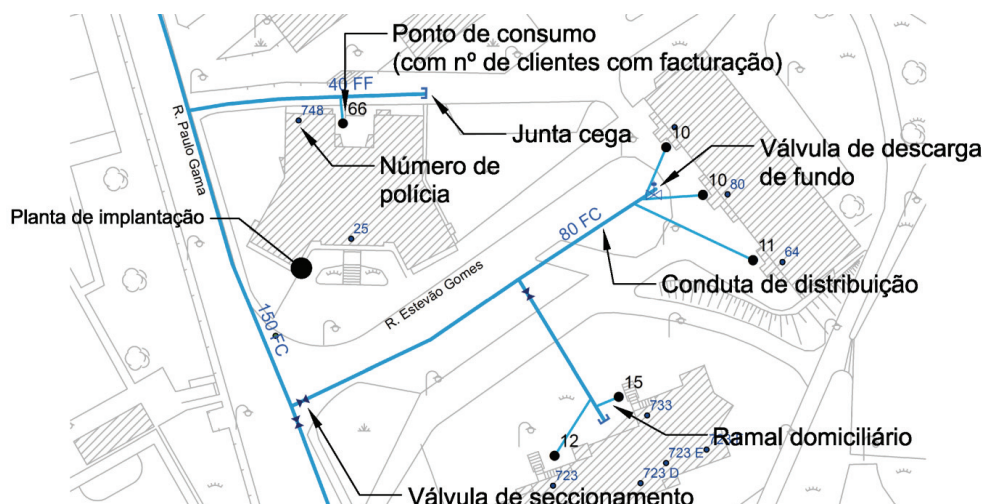


Fig.22 – Exemplo de informação mínima a possuir no levantamento cadastral de uma EG de um SAA de distribuição

Para calcular o QS13 é necessário recolher os dados da exploração, relativos a cada interrupção de abastecimento. Na empresa Águas do Porto, EEM existe já um formato de recolha de dados apresentado na Fig.23.

Cod.	Data	Hora	Local
5930	09/12/29	11:27	CERVANTES (R.),xTrv.Salg. (X) a r
309	10/01/19	19:14	REQUESENDE (R.),557 - (X) a r
600	10/02/07	11:53	VINTE CINCO ABRIL (AL),x R.Fer
1312	10/03/19	09:42	DOMINGUEZ ALVAREZ (R.),trz Ec
1565	10/04/05	09:35	INSTITUTO CEGOS S.MANUEL IF
1566	10/04/05	09:41	BDAVISTA (AV.),298
1567	10/04/05	09:44	PEDRO HISPANO (R.),1061
1568	10/04/05	09:47	MONSANTO (TR),149
1569	10/04/05	09:48	PART. MONSANTO (R.),157
1594	10/04/06	10:55	PINHEIRO MANSO (R.),337
1598	10/04/06	11:15	CAMPO ALEGRE (R.),223, café
1600	10/04/06	11:43	CAMPO ALEGRE (R.),faculdade lei
1603	10/04/06	13:11	VIDAGO (R.),junto ecoporto
1607	10/04/06	14:52	CANDIDO REIS (R.),frente 78
1617	10/04/07	09:15	ALTO MATO (R.),FRENTA A 2 B
1618	10/04/07	10:14	TENENTE VALADIM (R.),fr 544
1621	10/04/07	11:15	FRANCOS (R.),301
1623	10/04/07	11:23	PEREIRA REIS (R.),184
1624	10/04/07	11:24	COSTA ALMEIDA (R.),98
1625	10/04/07	11:25	COSTA ALMEIDA (R.),267
4958	09/10/27	16:37	LIOIOS (LRG),83 - (X) a rua.
5240	09/11/11	16:35	BATARIA (R.),121
5669	09/12/09	19:36	MIGUEL BOMBARDA (R.),adolfo c
213	10/01/14	13:01	AIRES ORNELAS (R.),271
292	10/01/19	10:05	ANSELMO BRAANCAMP (R.),550
395	10/01/25	10:05	ARRABIDA (R.),276
409	10/01/25	15:56	TAIPAS (R.),65
502	10/02/01	09:33	PAULO GAMA (R.),Jº Pingo doce
697	10/02/11	15:44	CONEGO FERREIRA PINTO (R.),F
1272	10/03/17	14:51	COSTA ALMEIDA (R.),221
1526	10/03/31	23:32	POVOA (R.),693 / 707
1528	10/03/31	23:4C	ESCOLAS (R.),lit. 199
1529	10/03/31	23:5C	S JOAO (R.),93

Reclamação Marcada Para Hoje  
Reclamação c/ Marcação posterior  
Em Execução - Interrompidas

Fig.23 – Registo de reclamações existente na Águas do Porto, EEM (software chamado *Multi*)

Os dados referentes a todo o tipo de reclamações relacionadas com a actividade da empresa são armazenados num *software* de base de dados chamado *Multi* (Fig.23) (este possui possibilidade de

desenvolvimento pois é programável). O *software* está dividido por áreas de exploração: água, saneamento, pavimentos, ramais, cortes, rotura, praias, ribeiras, entre outras. Para o cálculo do QS13, interessa exportar/tratar os dados das roturas de condutas e ramais domiciliários, pois serão as que condicionarão a fiabilidade.

The image shows a software interface for complaint control. It has a title bar 'Controlo'. Below it are several input fields and checkboxes. 'Contacto:' is followed by three empty text boxes. Below that are three checkboxes: 'Sinalizar' (checked), 'Água Via Publica' (unchecked), and 'Ctrl.Activo' (checked). To the right of these is a field 'No.Pessoas:' with the value '0'. Below the checkboxes are two date fields: 'Dt.Fecho:' and 'Dt. Abertura:', each followed by a question mark in a small box. There is a small icon of a checkmark in a box at the bottom right.

Fig.24 – Secção “Controlo” do registo de reclamações

A intenção do formato de registo da Fig.23 é completa. No entanto, verificam-se lacunas no preenchimento de certos campos, nomeadamente na secção “controlo” (Fig.24) que é fundamental para o cálculo do QS13. A maior falha na recolha de informação encontra-se nos campos data/hora de fecho/abertura e número de pessoas (corresponde ao número de clientes afectados por uma avaria, usar-se-á neste capítulo a designação número de pessoas pois é com esta designação que é registada no *software* da Águas do Porto, EEM). Esta secção de registo corresponde às variáveis envolvidas no cálculo do QS13. Uma vez que não existe recolha fiável da informação, torna-se impossível calculá-lo.

A data/hora de fecho/abertura são metodologicamente fáceis de obter, não necessitando de qualquer investimento adicional para o seu registo, dependendo apenas do rigor das ER. O preenchimento do número de pessoas já não segue a mesma tendência da variável anterior, uma vez que não é de recolha imediata no local.

O procedimento ideal e informatizado de actuação reactiva a uma interrupção de abastecimento seria o seguinte (tendo presente que as ER estão agilizadas com a Sala de Comando – equipa de telefonistas de atendimento ao cliente e que efectua todo o registo das reclamações):

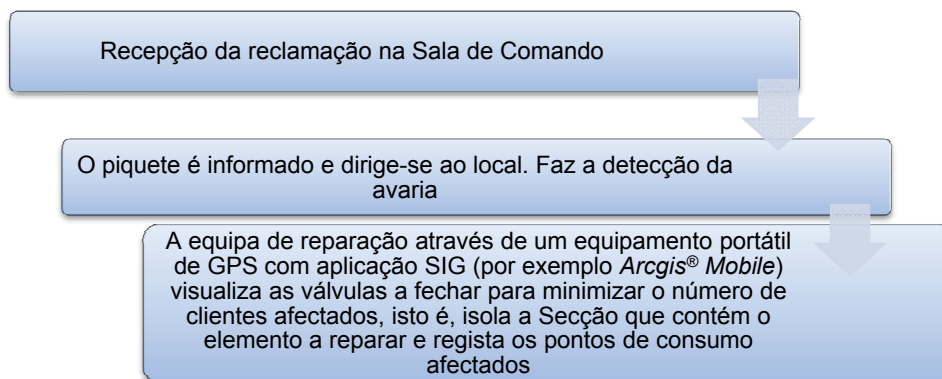


Fig.25 – Metodologia de recolha de dados para o cálculo do QS13

Assim, com a metodologia apresentada na Fig.25 que recorre à utilização de um equipamento portátil munido com *software* tipo *Arcgis® Mobile* (Anexo G), as ER teriam a possibilidade de, no acto de cada reparação, fazerem uma aproximação mais perspicaz, ao problema permitindo:

- O conhecimento pré-escavação do material e diâmetro do componente a reparar;
- Validação em tempo real do cadastro pós-escavação;
- Localização/identificação das válvulas a fechar para isolar a Secção na qual o elemento se insere.

Deste modo, com opções de contagem incorporadas no *software*, seria possível registar o número de clientes sem abastecimento, em função das válvulas fechadas (soma do número de clientes na área

isolada), e actualização permanente de clientes e componentes da RAA. Tal como foi dito anteriormente, na Águas do Porto, EEM, há uma tentativa de recolha de dados onde:

- A data/hora de fecho/abertura é recolhida via telefónica, em tempo real, por comunicação das ER com a Sala de Comando. Se este procedimento for cumprido rigorosamente, consegue-se informação fiável e de extrema relevância, válida para o cálculo do indicador QS13;
- O número de pessoas também é recolhido por comunicação telefónica entre as ER e a Sala de Comando. Contudo, a informação não é fiável, não se aproximando do valor real.

Constata-se que na Águas do Porto, EEM, até ao final do ano de 2009 houve uma recolha muito ineficiente da data/hora de fecho, data/hora de abertura e do número de pessoas (clientes) afectadas em interrupções de abastecimento. Em relação à data/hora de fecho e data/hora de abertura, em 2010, os campos correspondentes passaram a ser de preenchimento obrigatório pela equipa da Sala de Comando, pelo que há uma melhoria da quantidade de informação. O problema prende-se agora com o número de pessoas afectadas, constatando-se que é impossível ser contabilizado pelas ER no terreno, uma vez que é impensável contabilizar todos os contadores sem abastecimento. Posto isto, tentar-se-á resolver a lacuna operacional decorrente das ER não terem acesso a qualquer cadastro pormenorizado no terreno. Idealmente, o cadastro deveria poder ser consultado em tempo real através de suporte informático, mas devido ao elevado custo de investimento tentar-se-á implementar uma solução em suporte papel constituída por dossiers contendo as plantas (escala 1:1000) da cidade do Porto (Anexo D) dividida em grelha numerada (Fig.D.1). Cada planta contém a planimetria, números de polícia, cadastro e identificação das válvulas. Para além disto, os dossiers serão acompanhados por uma ficha de recolha de dados composta pelos Quadros 30, 31 e 32. Este formato tem o inconveniente do tratamento dos dados, pois qualquer consulta ou análise estatística requer que a informação recolhida esteja armazenada informaticamente. Este processo é moroso e requer um tempo adequado, mas futuramente poder-se-á seleccionar a informação passível de ser inserida no *Multi* juntamente com os dados da Nota de Serviço (a Nota de Serviço contém o enquadramento da reparação efectuada em termos de pessoal e materiais utilizados, sendo que os dados desta são inseridos no *Multi* após as reparações).

Quadro 30 – Recolha de dados 1 de 3 – enquadramento calendário e horário da reparação

Data e Hora de chegada ao local (a)	Data (a.1)	Hora (a.2)
	d/m/a	h/m
Data e Hora de saída do local (b)	Data (b.1)	Hora (b.2)
	d/m/a	h/m

Quadro 31 – Recolha de dados 2 de 3 – enquadramento espacial da reparação e validação cadastral

Condução afectada (c)	Rua e Número de Polícia mais próximo da rotura (c.1)			
	Rua e Nº			
	Material e Diâmetro correctos no cadastro? (c.2)			
	Sim (c.2.1)	Não (c.2.2)	Se Não Qual? (c.2.3)	
	X		Material (c.2.3.1)	Diâmetro (c.2.3.2)
			Material	Diâmetro Nominal (DN) (mm)

Quadro 32 – Recolha de dados 3 de 3 – quantificação horária do fecho das válvulas e registo da sua operacionalidade

Válvulas de seccionamento fechadas (d)	Identificação (d.1)	Hora de fecho (d.2)	Hora de Abertura (d.3)	Avariada (d.4)	
				Sim (d.4.1)	Não (d.4.2)
	Nº de ident.	h/m	h/m	X	
	Nº de ident.	h/m	h/m		X
	etc	etc	etc	etc	etc
Válvula de ramal domiciliária fechada (e)	Nº de Polícia (e.1)	Hora de fecho (e.2)	Hora de Abertura (e.3)	Avariada (e.4)	
				Sim (e.4.1)	Não (e.4.1)
	(c.1)	h/m	h/m		X

Com os Quadros 30, 31 e 32 é possível recolher os dados necessários para fazer uma aproximação ao cálculo do QS13:

- Os dados referentes a (a) e (b) na empresa Águas do Porto, EEM são já largamente registados. Estes servem para o enquadramento horário da reparação e constam na Nota de Serviço;
- Com os dados do conjunto (c), será possível no SIG identificar o local muito aproximado do elemento a reparar e validação do cadastro. No *Multi* o número de polícia mais próximo corresponde ao Georef (secção reclamação; este é obtido informaticamente com o cruzamento com o SIG), havendo também uma boa quantidade de informação recolhida com algumas lacunas pontuais. A validação do cadastro é uma prática de boa gestão e é fundamental, pois numa perspectiva de gestão de activos e futuros cálculos hidráulicos é necessário conhecer pelo menos o material e o diâmetro de todas as condutas e acessórios;
- Os dados (d.2) e (d.3) já são requeridos no *Multi*, mas existem muitas falhas de registo, encontrando-se em processo de colmatação. (d.1) e (d.4) são dados novos a recolher e será desenvolvido com pormenor a seguir;
- A empresa Águas do Porto, EEM, para além do SIG, possui um elevado número de bases de dados, de entre as quais podemos citar a dos números de polícia, que no caso do requerido em (e) poderá resolver o problema da contabilização dos clientes afectados em roturas de ramais domiciliários, dado que nesta todos números de policia estão agrupados pelos pontos de consumo. Portanto, através do Georef e a indicação de que foi fechada a válvula do ramal domiciliário, é possível obter o ponto de consumo em que foi cortado o abastecimento.

Tomando como exemplo a RAA da Fig.17 e admitindo uma rotura na conduta T3, pelo Quadro 26 esta pertence à Secção S4, logo para isolá-la é preciso fechar as válvulas V2, V3 e V5. Considerar-se-á a ficha hipotética composta pelos Quadros 33, 34 e 35, para se perceber a utilidade da mesma. Analisando o Quadro 35 verifica-se a aleatoriedade da obtenção dos dados referentes às válvulas. Atendendo às três válvulas fechadas (V2, V3 e V5), são possíveis seis combinações para a ordem em que as ER as podem fechar ou abrir: Combinação 1: V5, V2, V3; Combinação 2: V5, V3, V2; Combinação 3: V2, V5, V3; Combinação 4: V2, V3, V5; Combinação 5: V3, V5, V2; Combinação 6: V3, V2, V5.

Até à hora de fecho da última válvula, todos os clientes continuam a receber água e quando é aberta a primeira válvula, no fim da intervenção, todos os clientes passam novamente a receber água.

Quadro 33 – Recolha de dados 1 de 3 – enquadramento calendário e horário da reparação (exemplo)

Data e Hora de chegada ao local (a)	Data (a.1)	Hora (a.2)
	15/03/2010	16:10
Data e Hora de saída do local (b)	Data (b.1)	Hora (b.2)
	15/03/2010	18:50

Quadro 34 – Recolha de dados 2 de 3 – enquadramento espacial da reparação e validação cadastral (exemplo)

Conduta afectada (c)	Número de Polícia mais próximo da rotura (c.1)			
	Avenida da República nº 200			
	Material e Diâmetro correctos no cadastro? (c.2)			
	Sim (c.2.1)	Não (c.2.2)	Se Não Qual? (c.2.3)	
		X	Material (c.2.3.1)	Diâmetro (c.2.3.2)
			FC	80

Quadro 35 – Recolha de dados 3 de 3 – quantificação horária do fecho das válvulas e registo da sua operacionalidade (exemplo)

Válvulas de seccionamento fechadas (d)	Identificação (d.1)	Hora de fecho (d.2)	Hora de Abertura (d.3)	Avariada (d.4)	
				Sim (d.4.1)	Não (d.4.2)
	V5	16:25	18:20		X
	V2	16:35	18:40		X
	V3	16:45	18:30		X
Válvula de ramal domiciliária fechada (e)	Nº de Polícia (e.1)	Hora de fecho (e.2)	Hora de Abertura (e.3)	Avariada (e.4)	
				Sim (e.4.1)	Não (e.4.1)

Considerando o Quadro 27 com os possíveis clientes afectos a cada conduta (ligados aos pontos de consumo não representados no esquema), pode-se então calcular o índice QS13 para a situação em questão (admitindo que a RAA exemplo no ano de estudo apenas teve roturas em T3 e que as válvulas V2, V3 e V5 estariam funcionais e foram localizadas correctamente):

- O número total de clientes é de trezentos e setenta e cinco e o período de estudo é um ano (365 dias);

- Admitindo que houve apenas sete roturas na mesma conduta com durações idênticas, então o tempo total sem serviço foi de 11.08 horas (1 hora e 35 minutos x 7) e o número de clientes afectados foi de quinhentos e vinte e cinco.

$$QS13 = \frac{525 \times 11.08}{375 \times 365 \times 24} \times 100 = 0.18\% \quad (24)$$

O resultado é interpretado da seguinte forma: os cortes de abastecimento, durante um ano, afectaram no total 140% dos clientes ligados e estes ficaram sem serviço durante 0.126% do tempo de estudo. Com isto, esta RAA pode-se considerar fiável tendo em conta o limite máximo considerado aceitável de 5% para o QS13. A percentagem de tempo sem serviço foi insignificante, apesar do número de clientes afectados ter sido considerável, o que poderá sugerir uma reformulação da RAA, nomeadamente do esquema de válvulas, para além de poder ser um sinal de deterioração da rede.

O valor do tempo de afectação tem algumas particularidades: para além de ser comandado pelo tempo entre abertura e fecho das válvulas, a gravidade da avaria e a capacidade de detecção pelas ER é que vão ter impacto directo nele. No caso hipotético, o tempo de fecho, reparação e reabertura da água foi de 1 hora e 35 minutos. É um valor plausível para uma rotura visível à superfície, se o trânsito não for muito intenso na zona e se o solo a remover for brando.

Daqui pode-se tirar as seguintes conclusões:

- É impossível, sem suportes informáticos, obter em tempo real a localização/caracterização das válvulas no terreno e deste modo determinar com exactidão os clientes afectados.
- As ER deverão ser sensibilizadas para a importância do rigor e significado da data/hora de fecho/abertura. Assim, deverão comunicar os dados com a maior precisão possível e, tal como explicado anteriormente, a data/hora de fecho corresponderá à última válvula efectivamente fechada (que efectuou o corte de água) e a data/hora de abertura corresponderá à primeira válvula aberta.

Para que os resultados sejam fiáveis, tem de haver responsabilidade acrescida, traduzida em trabalho adicional das ER. Nem sempre é possível seguir os procedimentos com rigor, pelo que é impossível garantir a veracidade e obtenção de todos os dados.

Os mapas elaborados (Anexo D) e a ficha de recolha de dados (Anexo E) permitem fazer validação de cadastro e registo de manutenção de válvulas, práticas importantes para a boa gestão de activos mas, não colmatam a falha da determinação directa do número de clientes afectados por avarias. Posteriormente terá de ser feito um estudo visando o cruzamento dos dados recolhidos com o cadastro. Portanto, esta metodologia é similar ao que seria efectuado *in situ* com recurso ao equipamento portátil, mas de um modo notoriamente mais moroso, uma vez que cada ficha tem de ser validada uma à uma e seguramente o número de reclamações anuais será apreciável.

Posto isto, existe um complemento para esta metodologia que se baseia em usar um *software* para análise da RAA em termos de clientes, identificando as Secções descritas no subcapítulo 3.3.1 e as suas condutas críticas, podendo assim tomar-se decisões para reformulação de colocação de válvulas e usá-lo em novos projectos. Uma análise deste género será apresentada no capítulo 6.

## 5.2. METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA O CÁLCULO DO QS13: RECURSO A LEITURA DE CONTADORES COM TELEMETRIA

Existe uma metodologia alternativa à anterior baseada no tratamento de dados registados por telemetria (Anexo F). Esta é mais precisa, directa e em tempo real, obtendo-se um registo efectuado de

modo contínuo e ininterrupto. Estes sistemas de transmissão de dados por radiofrequência permitem a monitorização e controlo do SAA e a telecontagem dos contadores dos clientes.

Podem destacar-se duas mais-valias principais: (1) permitem um controlo activo de fugas, isto é, quando o *data logger* regista um consumo anormalmente elevado, normalmente num ponto de entrega ou ao longo da rede de distribuição, é enviado um alerta via GSM, pois na maior parte dos casos significa a existência de uma rotura; (2) os telecontadores permitem que o consumo e pressão dos clientes sejam registados ao longo do tempo, portanto quando o abastecimento for interrompido a pressão será necessariamente nula ou negativa. O tratamento dos registos efectuados contabilizando o número de clientes com pressão nula ou negativa durante o intervalo de tempo registado permite determinar de forma directa o indicador (em alternativa poder-se-á tomar um nível mínimo de pressão de serviço, por exemplo 15 mca, e sempre que a pressão registada for inferior os clientes serão considerados afectados).

A desvantagem desta metodologia é o elevado custo de investimento necessário para a sua instalação. Mas, o benefício inerente ao controlo activo de perdas é elevado, pelo que o futuro aponta para a proliferação desta tecnologia. Muito provavelmente, esta metodologia apenas será utilizada em empresas com modelos de gestão capazes de recuperar os investimentos, logo em sistemas municipais com tarifas ainda fixadas em assembleia municipal, esta metodologia não é comportável. Este é um dos objectivos da ERSAR: uniformizar as tarifas e impedir as políticas de desinvestimento das empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água.

## 6

## ANÁLISE DE UM SUBSISTEMA DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO: RUA PAULO DA GAMA E SUA ENVOLVENTE

### 6.1. INTRODUÇÃO

Como exemplo de um estudo da fiabilidade e amostragem da recolha de dados efectuada na empresa Águas do Porto, EEM, irá ser estudada uma zona do Porto (Anexo A) correspondente à Rua Paulo da Gama e sua envolvente constituída pelas ruas: Rua Álvaro Gomes, Rua Pedro Escobar, Rua João Baptista Lavanha, Rua Senhora da Ajuda, Rua Gaspar Correia e Rua Estevão Gomes. A RAA serve maioritariamente um conjunto residencial diversificado, com oitocentos e trinta clientes, constituído por residências unifamiliares e plurifamiliares, abastecida pelo reservatório de Nova Sintra podendo este ser substituído/complementado pelo reservatório do Carvalhido ou pela zona da Preciosa (Fig.16) (por exemplo na ocorrência de roturas ou incêndios), abrangendo uma área de 15.12 hectares. A RAA instalada é constituída, na maior parte, por condutas de FC, maioritariamente instaladas em 1970, tendo vindo a sofrer um elevado número de roturas. Está em curso a elaboração de um projecto de remodelação total que visa a colocação de uma RAA ideal capaz de satisfazer um horizonte de projecto de cem anos.

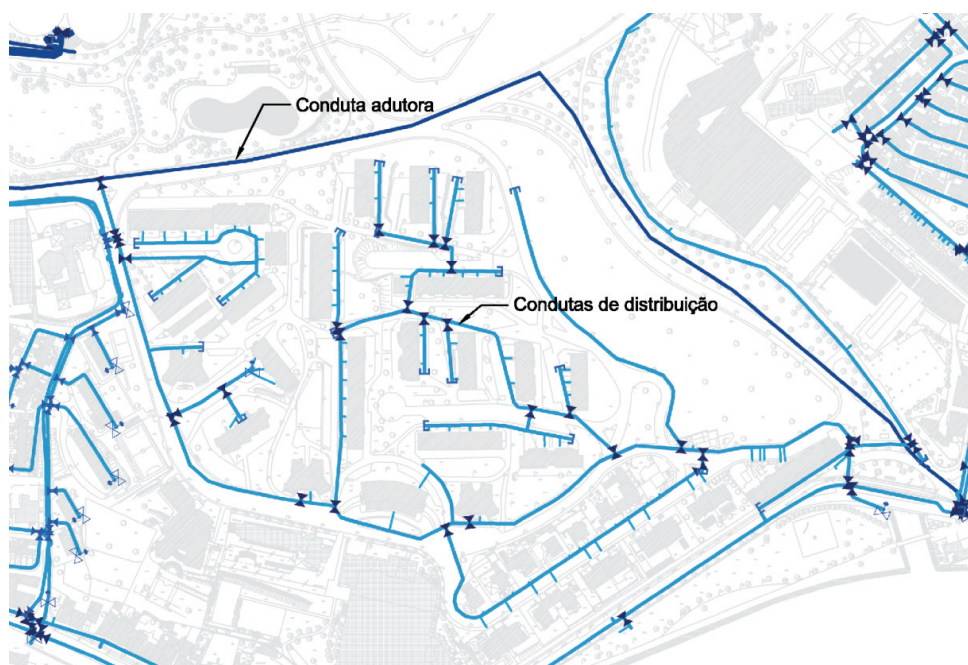


Fig.26 – Implantação da Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Neste capítulo, será feita uma análise quantitativa do aumento de fiabilidade produzido pela remodelação projectada para a zona com recurso ao modelo informático SVMM (Anexo H) e será feita



uma crítica à quantidade e à veracidade dos dados recolhidos na zona necessários para o cálculo do QS13 nos anos 2007, 2008 e 2009.

O modelo SVMM permite simular roturas em todas as condutas da RAA e deste modo determinar o peso de cada uma em termos de clientes aquando a necessidade de um corte de abastecimento. Este modelo possui dois níveis de análise: (1) todas as válvulas da RAA funcionam correctamente e são definidas as Secções descritas em no subcapítulo 3.3; (2) são simuladas várias roturas em cada conduta da RAA considerando a probabilidade de válvulas poderem não estar funcionais, recolhendo-se com este procedimento a afectação de clientes das várias combinações; com a amostragem calcula-se o número médio de clientes afectados.

## 6.2. REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INSTALADA NA RUA PAULO DA GAMA E SUA ENVOLVENTE

A RAA instalada (Anexo B) foi modelada com recurso ao *software Epanet*. A análise será efectuada por conduta da RAA, isto é, o modelo não analisará roturas em ramais de ligação domiciliários, visto que as avarias em condutas é que constituem um impacto considerável em termos de clientes afectados e de perda de água. Para além disto, geralmente, estas provocam cortes de abastecimento demorados (podendo ter um valor superior a um dia) devido à resolução morosa decorrente de desvios de trânsito e volume de movimentos de terras apreciável.

A modelação perfaz os totais de quarenta e nove condutas (Fig.B.1) com três mil quinhentos e cinquenta e sete metros, quarenta e cinco Nós (Fig.B.2) e dois pontos de abastecimento.

Há vinte e quatro válvulas de seccionamento (Fig.B.4) capazes de isolar Secções. Para além destas foram admitidas mais quatro válvulas na modelação: RF2,T47; N2,T47; RF1,T48 e N44,T48, com o intuito de simular o corte no abastecimento pelo fecho dos reservatórios, uma vez que na realidade T47 e T48 são um conjunto de condutas que abastecem a zona circundante, contendo mais válvulas de seccionamento e não ligando directamente aos reservatórios como simulado. T7 é uma conduta adutora, enquanto as restantes são de distribuição (onde ligam os ramais domiciliários).

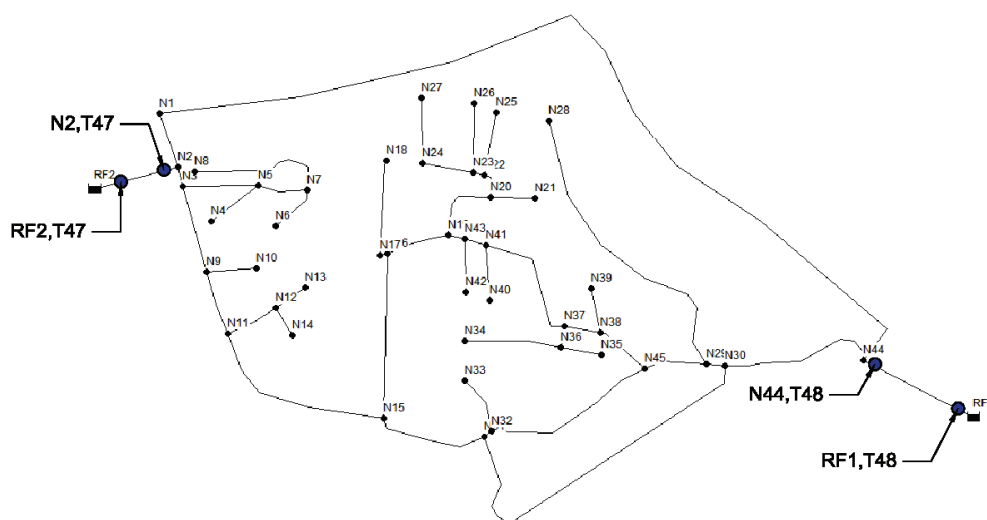


Fig.27 – Válvulas adicionais admitidas na modelação

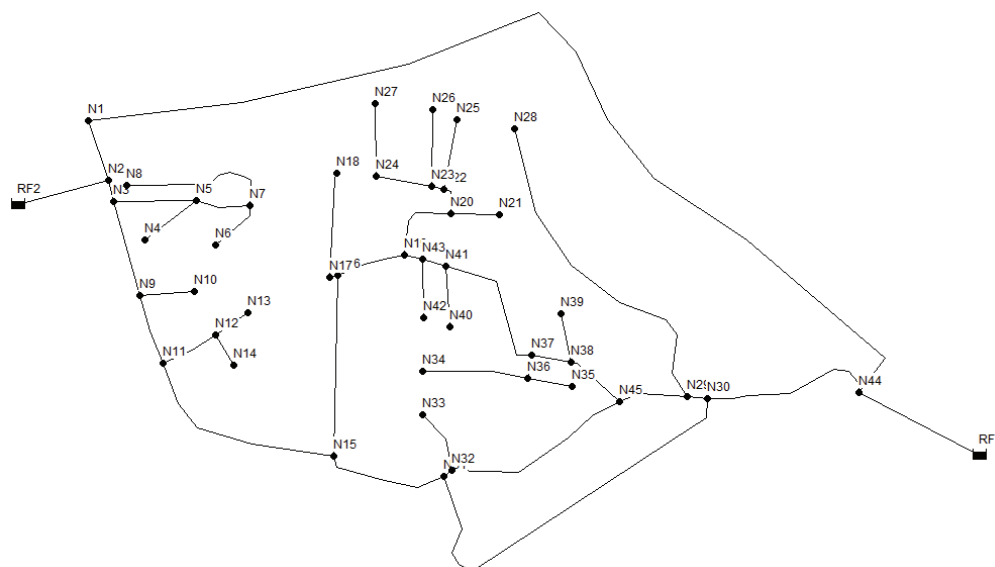


Fig.28 – Nós que compõe a RAA instalada

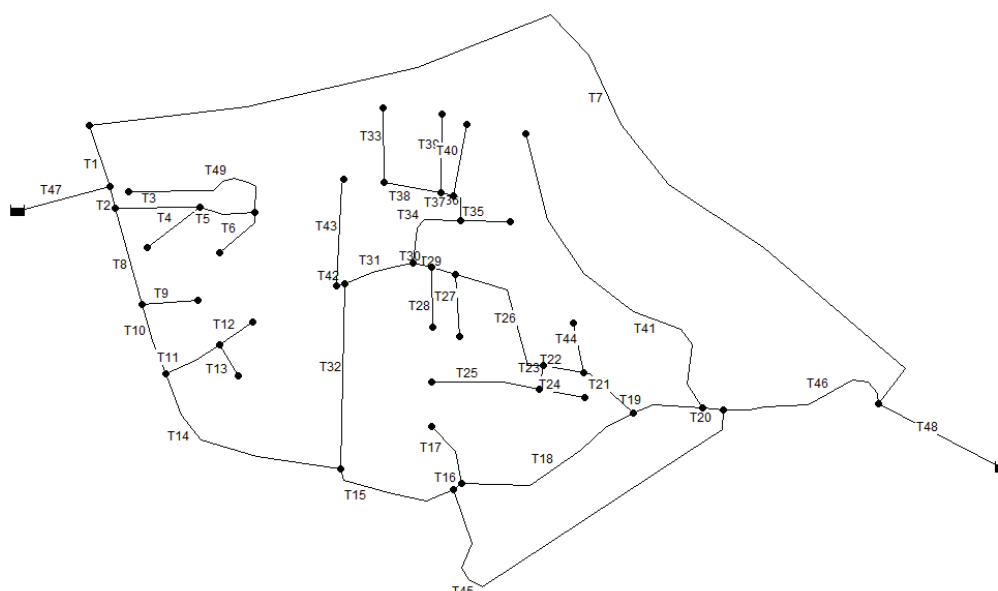


Fig.29 – Condutas que compõe a RAA instalada

### 6.2.1. ANÁLISE DAS SECÇÕES

O primeiro nível de estudo a realizar para identificar as condutas críticas da RAA, tal como enunciado anteriormente, é considerar que todas as válvulas funcionam correctamente e que as ER as localizam devidamente, isolando apenas a conduta a reparar. Consistirá portanto, na divisão da RAA nas suas Secções isoláveis (Fig.B.3). Pelo Quadro 36 verifica-se que na RAA instalada há vinte e três Secções isoláveis e três Nós-Secção (Quadro 37). Os Nós-Secção RF1 e RF2 (reservatórios) são admitidos, no entanto, correspondem ao funcionamento real do sistema já que o abastecimento pode ser cortado à saída de ambos (simulando o fecho dos reservatórios de abastecimento ou corte de abastecimento na zona circundante). Quanto mais próxima a quantidade destes Nós for do número de Nós totais existentes na RAA, maior a fiabilidade, uma vez que isso indica uma aplicação de válvulas segundo o método N.

Quadro 36 – Secções da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente

	Condutas em cada Secção	Clientes directos	Isolamentos involuntários	Clientes indirectos	Total de clientes	Nº de válvulas
S (0)	S (0) = T1	0	S (0) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (1)	S (1) = T2, T8, T9, T10	66	S (1) = T3, T4, T5, T11, T12, T13, T49, T6	191	257	4
S (2)	S (2) = T3, T4, T5, T49, T6	133	S (2) = Não provoca isolamentos involuntários	0	133	1
S (3)	S (3) = T11, T12	31	S (3) = T13	27	58	2
S (4)	S (4) = T13	27	S (4) = Não provoca isolamentos involuntários	0	27	1
S (5)	S (5) = T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T46	141	S (5) = T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28, T29, T30, T31, T32, T33, T34, T35, T36, T37, T38, T39, T40, T41, T42, T43, T44, T45	432	573	7
S (6)	S (6) = T21, T22, T26, T29, T30, T31, T42	21	S (6) = T23, T24, T25, T27, T28, T33, T34, T35, T36, T37, T38, T39, T40, T43, T44	330	351	8
S (7)	S (7) = T23, T24, T25	79	S (7) = Não provoca isolamentos involuntários	0	79	1
S (8)	S (8) = T27	22	S (8) = Não provoca isolamentos involuntários	0	22	1
S (9)	S (9) = T28	24	S (9) = Não provoca isolamentos involuntários	0	24	1
S (10)	S (10) = T32	63	S (10) = Não provoca isolamentos involuntários	0	63	2
S (11)	S (11) = T33	21	S (11) = Não provoca isolamentos involuntários	0	21	1
S (12)	S (12) = T34, T35	63	S (12) = T33, T36, T37, T38, T39, T40	63	126	2
S (13)	S (13) = T36, T37, T38	0	S (13) = T33, T39, T40	63	63	4

Quadro 36 – Secções da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente (continuação)

	Condutas em cada Secção	Clientes directos	Isolamentos involuntários	Clientes indirectos	Total de clientes	Nº de válvulas
S (14)	S (14) = T39	21	S (14) = Não provoca isolamentos involuntários	0	21	1
S (15)	S (15) = T40	21	S (15) = Não provoca isolamentos involuntários	0	21	1
S (16)	S (16) = T41	0	S (16) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	1
S (17)	S (17) = T43	47	S (17) = Não provoca isolamentos involuntários	0	47	1
S (18)	S (18) = T44	32	S (18) = Não provoca isolamentos involuntários	0	32	1
S (19)	S (19) = T45	18	S (19) = Não provoca isolamentos involuntários	0	18	2
S (20)	S (20) = T47	0	S (20) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (21)	S (21) = T48	0	S (21) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (22)	S (22) = T7	0	S (22) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	3

Quadro 37 – Nós-Secção da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Secção	Nó
S (23)	N2
S (24)	RF1
S (25)	RF2

Com esta divisão de clientes por conduta pretende-se (1) determinar os indicadores que descrevem o funcionamento global da RAA; (2) identificar Secções críticas – Secções compostas por várias condutas, das quais dependem um elevado número de clientes e provoquem isolamentos involuntários; (3) definir e determinar o peso das válvulas da RAA em termos de clientes (índice de importância das válvulas).

Do Quadro 36, é possível identificar algumas das condutas críticas da RAA, nomeadamente por provocarem isolamentos involuntários, pela ordem de grandeza do número de clientes afectos a cada conduta e pelo número de válvulas necessárias a fechar para isolá-la. Existem isolamentos involuntários nas Secções S (1), S (3), S (5), S (6), S (12) e S (13). Nota-se que os isolamentos indirectos que ocorrem nas Secções S (5) (quatrocentos e trinta e dois clientes), S (6) (trezentos e trinta clientes) e S (1) (cento e noventa e um clientes) são preocupantes uma vez que representam em média

81% dos clientes afectados em roturas nas condutas respectivas. Nas Secções S (5) e S (6), para além dos isolamentos involuntários, é preciso fechar sete e oito válvulas para isolá-las, excedendo assim os limites recomendados. As condutas que constituem as Secções S (1), S (3), S (5), S (6), S (12) e S (13) são identificadas como críticas.

Como referido anteriormente, para a definição das Secções isoláveis a fiabilidade das válvulas foi considerada 100% (todas funcionam correctamente). Também é admitido que as ER conseguem localizar correctamente as válvulas a serem fechadas no terreno. Na realidade, as ER, na maior parte dos casos, não são capazes de localizar as válvulas que minimizem o número de clientes afectados (definindo as Secções) e estas poderão não estar a funcionar correctamente. Quando uma válvula está avariada a Secção adjacente também será isolada, o que resulta num número considerável de clientes adicionais afectados. Chamar-se-á ao rácio de clientes adicionais afectados: índice de importância das válvulas. Este permitirá analisar a sensibilidade de uma conduta à avaria/omissão de uma válvula necessária para isolá-la.

Pela análise da Fig.30, nota-se que as válvulas de seccionamento existentes nesta RAA têm um peso considerável em termos de clientes. Este índice poderá ser tomado como referência para estabelecer prioridades numa reformulação do esquema de válvulas, no sentido de diminuir o peso de cada válvula na RAA.

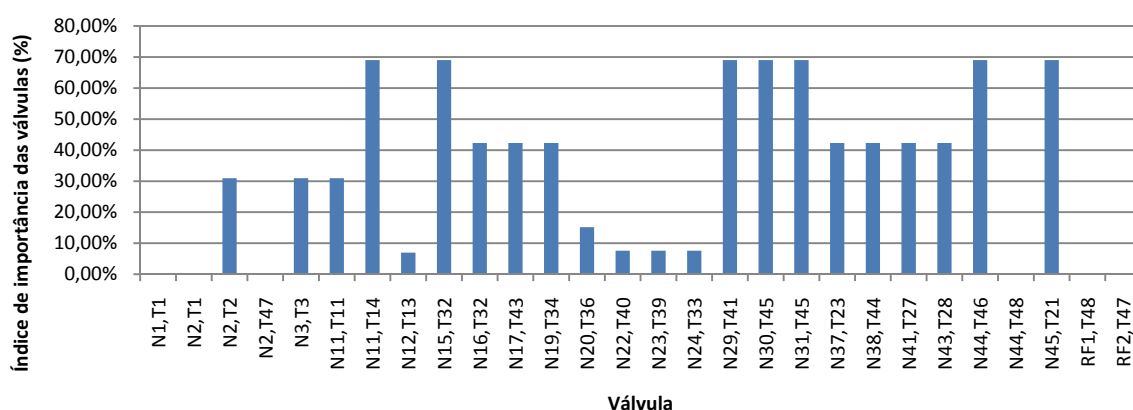


Fig.30 – Índice de importância das válvulas instaladas na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Quadro 38 – Secções que cada válvula instalada na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide (continuação)

Válvula (Nó, Conduta)	Secção 1	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes	Secção 2	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes
N1,T1	S (0)	0	0	0	S (22)	0	0	0
N2,T1	S (0)	0	0	0	S (23)	0	0	0
N2,T2	S (1)	66	191	257	S (23)	0	0	0
N2,T47	S (20)	0	0	0	S (23)	0	0	0

Quadro 38 – Secções que cada válvula instalada na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide

Válvula (Nó, Conduta)	Secção 1	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes	Secção 2	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes
N3,T3	S (1)	66	191	257	S (2)	133	0	133
N11,T11	S (1)	66	191	257	S (3)	31	27	58
N11,T14	S (1)	66	191	257	S (5)	141	432	573
N12,T13	S (3)	31	27	58	S (4)	27	0	27
N15,T32	S (5)	141	432	573	S (10)	63	0	63
N16,T32	S (6)	21	330	351	S (10)	63	0	63
N17,T43	S (6)	21	330	351	S (17)	47	0	47
N19,T34	S (6)	21	330	351	S (12)	63	63	126
N20,T36	S (12)	63	63	126	S (13)	0	63	63
N22,T40	S (13)	0	63	63	S (15)	21	0	21
N23,T39	S (13)	0	63	63	S (14)	21	0	21
N24,T33	S (11)	21	0	21	S (13)	0	63	63
N29,T41	S (5)	141	432	573	S (16)	0	0	0
N30,T45	S (5)	141	432	573	S (19)	18	0	18
N31,T45	S (5)	141	432	573	S (19)	18	0	18
N37,T23	S (6)	21	330	351	S (7)	79	0	79
N38,T44	S (6)	21	330	351	S (18)	32	0	32
N41,T27	S (6)	21	330	351	S (8)	22	0	22
N43,T28	S (6)	21	330	351	S (9)	24	0	24
N44,T46	S (5)	141	432	573	S (22)	0	0	0
N44,T48	S (21)	0	0	0	S (22)	0	0	0
N45,T21	S (5)	141	432	573	S (6)	21	330	351
RF1,T48	S (21)	0	0	0	S (24)	0	0	0
RF2,T47	S (20)	0	0	0	S (25)	0	0	0

Cada válvula faz a divisão entre duas Secções. Pelo Quadro 38, constata-se que nesta RAA a maior parte das válvulas delimitam zonas com grande número de clientes, daí o elevado índice de importância das válvulas. Portanto, tal como já referido, um dos objectivos a cumprir para o aumento da fiabilidade é passar a ter mais Secções de menor dimensão em termos de clientes, obtendo a redução do índice anterior.

### 6.2.2. INDICADORES

O Quadro 39 apresenta os indicadores que podem ser calculados para caracterizar a RAA instalada. Os valores obtidos são comparados com os valores de referência para uma RAA ideal. Numa RAA, um posicionamento ideal de válvulas implicará que cada Secção seja apenas composta por uma conduta, logo não mais que uma conduta é fechada numa interrupção de abastecimento. Na RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente são precisas, em média, fechar 2.22 válvulas para isolar uma Secção e estas são compostas, em média, por 2.13 condutas por Secção. O comprimento médio de uma Secção é de 154.67 metros e o rácio comprimento por válvula é de 127.05 metros.

Quadro 39 – Indicadores da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Indicadores	Unidades	RAA instalada	RAA Ideal
Comprimento total de condutas	m	3557.4	-
Fiabilidade das válvulas admitida	-	95%	-
Comprimento médio das Secções	m/secção	154.67	-
Número médio de válvulas por conduta	Válvula/conduta	0.57	2
Número médio de válvulas a fechar para isolar uma Secção	Válvula/secção	2.22	2
Rácio comprimento por válvula	m/válvula	127.05	-
Impacto da avaria de uma válvula	Clientes/válvula	271.86	-
Fiabilidade média de isolar uma Secção	Fiabilidade/secção	90%	90%
Número médio de condutas por Secção	Conduta/secção	2.13	1

Tal como enunciado no subcapítulo 3.4, a fiabilidade de fechar uma Secção depende da fiabilidade das válvulas. Uma vez que se considerou no cálculo dos indicadores uma fiabilidade das válvulas de 95%, o valor obtido foi igual ao ideal. Contudo, tal não será totalmente verdadeiro dado a RAA instalada estar a ficar com sinais de deterioração, logo a fiabilidade de isolar uma Secção será um pouco mais baixa (aproximadamente maior que 80% e menor que 90%).

O Quadro 39 evidencia os vários aspectos a melhorar, de entre os quais se destacam o número médio de válvulas por conduta e o número médio de válvulas a fechar para isolar uma Secção. No entanto, esta zona possui um ponto forte muito importante que é ter dois pontos de abastecimento. A probabilidade de os dois falharem ao mesmo tempo é diminuta daí o abastecimento estar praticamente sempre garantido na zona.

### 6.2.3. ANÁLISE PROBABILÍSTICA

Em seguida, será realizada uma análise probabilística através da remoção da condição fronteira: todas as válvulas necessárias para isolar uma Secção estão todas operacionais e perfeitamente localizáveis. O princípio é simular a rotura de uma conduta considerando a possibilidade de algumas válvulas não estarem a funcionar correctamente ou serem omitidas pelas ER (tanto por erro como por outros condicionalismos externos). Portanto, se tal acontecer, a Secção adjacente será também isolada. Tomando como exemplo uma Secção que precisa do fecho de quatro válvulas e que cada uma tem

uma fiabilidade de 95%, a probabilidade da expansão para a Secção adjacente é igual à probabilidade de pelo menos uma válvula não funcionar:

$$(1 - 95\%^4) \times 100 = 18.55\% \quad (25)$$

O resultado da equação (25) significa que na ocorrência da necessidade de uma interrupção de abastecimento 18.55% das vezes as Secções adjacentes também serão afectadas. O SVM use a equação 25 e factores hidráulicos para determinar as combinações de avaria/omissão de válvulas mais prováveis.

Fazer-se-á esta análise para toda a RAA, admitindo uma fiabilidade das válvulas de 95% e 50% e trinta e cinco roturas em cada conduta, recolhendo-se a afectação. A fiabilidade real das válvulas, considerando avarias e condicionalismos externos, estará entre os valores usados. A fiabilidade de 50% representa uma situação de limite inferior. No entanto, será usada para efectuar uma análise de sensibilidade da RAA a avarias *versus* falha/omissão de válvulas.

A análise do Quadro 40 permite constatar a elevada sensibilidade desta RAA à avaria/omissão de uma válvula. Com uma fiabilidade das válvulas de 50%, são afectados em média mais duzentos e treze clientes, que constituem quase um terço dos clientes totais abastecidos pela RAA.

Quadro 40 – Número médio de clientes da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas

Conduta	Fiabilidade das válvulas 95 %	Fiabilidade das válvulas 50 %	Diferença de clientes afectados (Fiabilidade 50% - Fiabilidade 95%)
	Número médio de clientes afectados em trinta e cinco combinações		
T1	0	379	379
T2	290	552	262
T3	140	328	188
T4	137	375	238
T5	140	366	226
T6	133	407	274
T7	33	407	374
T8	257	650	393
T9	273	535	262
T10	290	519	229
T11	64	291	227
T12	69	268	199
T13	29	194	165
T14	580	713	133
T15	580	727	147



Quadro 40 – Número médio de clientes da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas (continuação)

Conduta	Fiabilidade das válvulas 95 %	Fiabilidade das válvulas 50 %	Diferença de clientes afectados (Fiabilidade 50% - Fiabilidade 95%)
	Número médio de clientes afectados em trinta e cinco combinações		
T16	602	720	118
T17	573	735	162
T18	580	742	162
T19	588	749	161
T20	573	735	162
T21	365	603	238
T22	399	521	122
T23	102	318	216
T24	79	262	183
T25	79	299	220
T26	357	568	211
T27	31	257	226
T28	52	240	188
T29	372	527	155
T30	359	537	178
T31	363	568	205
T32	131	528	397
T33	21	128	107
T34	139	337	198
T35	132	346	214
T36	65	296	231
T37	68	202	134
T38	68	176	108
T39	25	148	123
T40	22	141	119
T41	24	322	298
T42	378	612	234
T43	73	246	173

Quadro 40 – Número médio de clientes da RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas (continuação)

Conduta	Fiabilidade das válvulas 95 %	Fiabilidade das válvulas 50 %	Diferença de clientes afectados (Fiabilidade 50% - Fiabilidade 95%)
	Número médio de clientes afectados		
T44	59	306	247
T45	97	538	441
T46	580	720	140
T47	0	299	299
T48	0	208	208
T49	147	331	184
Média de clientes adicionais afectados			213

Os resultados do Quadro 40 são a afectação média das trinta e cinco combinações para cada conduta. Deste modo, usar-se-á a conduta T32, para expor um exemplo descritivo. Esta pertence à Secção S (10) limitada pelas válvulas N15,T32 e N16,T32 (Fig.31).

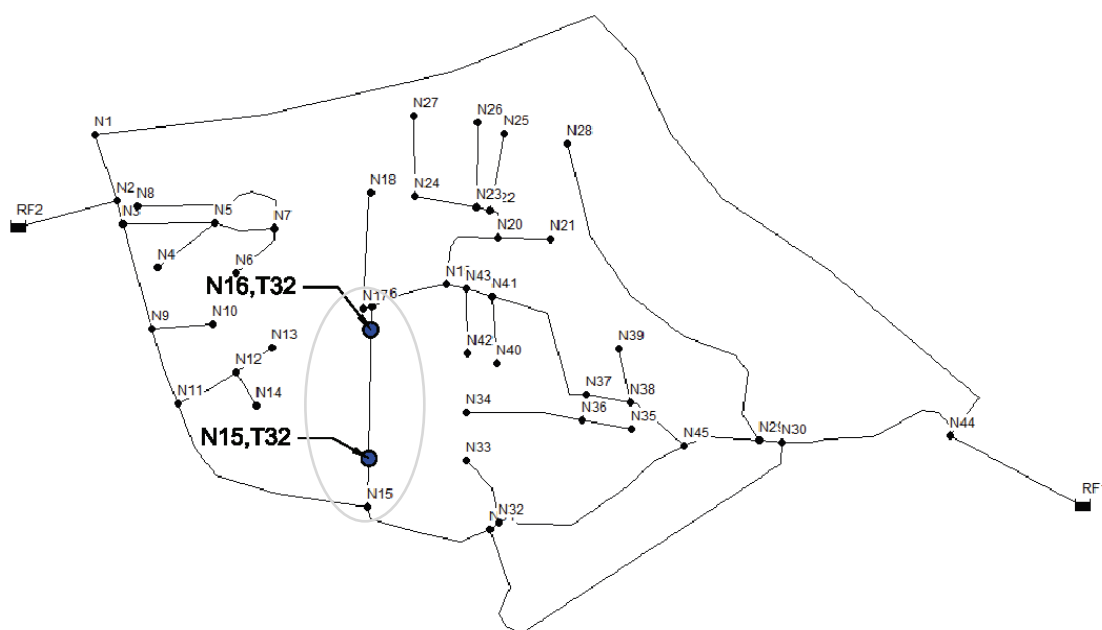


Fig.31 – Conduta T32 para análise de sensibilidade

O objectivo é, então, simular trinta e cinco roturas nesta conduta, considerando combinações de operacionalidade/omissão de fecho das válvulas possíveis e determinar o número médio de clientes sem abastecimento de água.

Quadro 41 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 95%

Fiabilidade das válvulas 95 %	
Válvulas avariadas/omitidas	Clientes afectados
Nenhuma válvula falha (30 vezes)	63
N15,T32 e N45,T21	573
N15,T32	573
N15,T32 e N29,T41	573
N16,T32	414
N15,T32 e N31,T45	573
Número médio de clientes afectados	131

Observando o Quadro 41 para a conduta T32 (parte da Rua Paulo da Gama), mesmo com uma fiabilidade das válvulas de 95%, o que indicaria uma RAA nova ou com boa manutenção, a média de clientes afectados quando ocorre uma interrupção de abastecimento é de cento e trinta e um clientes, mais do dobro do que se a fiabilidade das válvulas fosse 100%. Tal facto, demonstra a sensibilidade da fiabilidade desta rede face à operacionalidade ou omissão de fecho das válvulas.

Usando igual procedimento, mas agora tomando uma fiabilidade das válvulas de 50% (Quadro 42), conclui-se, como seria de esperar, que há um número maior de combinações possíveis, dado que tornou-se mais provável a avaria/omissão de uma válvula, o que mostra a complexidade da integração do problema no projecto de redes de abastecimento água. Posto isto, o número médio de clientes afectados passou a ser mais de oito vezes superior do que se todas as válvulas funcionassem ou fossem fechadas correctamente.

Quadro 42 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 50%

Fiabilidade das válvulas 50 %	
Válvulas avariadas	Clientes afectados
Nenhuma válvula falha (10 vezes)	63
N16,T32 e N37,T23 e N38,T44 e N45,T21 e N31,T45 e N30,T45 e N11,T14 e N11,T11 e N3,T3 e N2,T2 e N2,T1 e N2,T47 e N12,T13 e N1,T1	830
N15,T32 e N45,T21 e N30,T45 e N38,T44 e N37,T23 e N41,T27 e N19,T34 e N17,T43	573
N15,T32 e N11,T14	830
N16,T32 e N43,T28 e N41,T27 e N45,T21	573
N15,T32 e N45,T21 e N29,T41 e N30,T45 e N38,T44 e N41,T27 e N43,T28 e N17,T43	573
N15,T32 e N31,T45 e N45,T21 e N11,T14 e N11,T11 e N3,T3 e N37,T23 e N41,T27 e N19,T34 e N2,T2 e N2,T1 e N12,T13 e N1,T1	830

Quadro 42 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 50% (continuação)

Fiabilidade das válvulas 50 %	
Válvulas avariadas	Clientes afectados
N15,T32 e N31,T45 e N45,T21 e N29,T41 e N30,T45	573
N15,T32 e N31,T45 e N45,T21 e N11,T14 e N44,T46 e N11,T11 e N3,T3 e N37,T23 e N41,T27 e N43,T28 e N19,T34 e N17,T43 e N20,T36	830
N15,T32 e N16,T32 e N31,T45 e N45,T21 e N43,T28 e N41,T27 e N37,T23 e N17,T43 e N11,T14 e N44,T46 e N11,T11 e N3,T3 e N44,T48 e N12,T13 e RF1,T48	830
N16,T32 e N43,T28 e N37,T23 e N17,T43 e N45,T21 e N11,T14 e N3,T3 e N2,T2 e N2,T1	830
N16,T32 e N19,T34 e N17,T43 e N45,T21 e N30,T45 e N20,T36 e N11,T14 e N11,T11 e N3,T3 e N24,T33 e N2,T2 e N2,T47 e RF2,T47	830
N16,T32 e N37,T23 e N45,T21 e N30,T45 e N11,T14 e N44,T46 e N1,T1 e N12,T13	830
N15,T32 e N29,T41 e N30,T45 e N44,T46 e N44,T48 e RF1,T48	573
N15,T32 e N45,T21 e N29,T41 e N30,T45 e N44,T46 e N44,T48 e N1,T1 e N37,T23 e N41,T27 e N19,T34 e N17,T43	573
N15,T32 e N31,T45 e N44,T46 e N1,T1	573
N16,T32 e N19,T34 e N43,T28 e N37,T23 e N17,T43 e N45,T21 e N29,T41 e N30,T45 e N20,T36 e N44,T46 e N44,T48 e N1,T1 e RF1,T48	573
N16,T32 e N19,T34 e N38,T44 e N20,T36 e N24,T33	414
N16,T32 e N19,T34 e N43,T28 e N41,T27 e N45,T21 e N30,T45 e N20,T36 e N11,T14 e N11,T11 e N23,T39 e N12,T13	830
N16,T32 e N19,T34 e N43,T28 e N41,T27 e N45,T21 e N30,T45 e N11,T14 e N3,T3	830
N16,T32 e N41,T27 e N38,T44	414
N15,T32 e N16,T32 e N45,T21 e N30,T45 e N43,T28 e N37,T23 e N17,T43 e N11,T14 e N44,T46 e N11,T11	830
N15,T32 e N31,T45 e N29,T41 e N30,T45 e N11,T14 e N3,T3	830
N15,T32 e N16,T32 e N45,T21 e N29,T41 e N19,T34 e N43,T28 e N38,T44 e N11,T14 e N44,T46 e N44,T48	830
N15,T32 e N31,T45 e N29,T41 e N11,T14	830
N15,T32 e N45,T21 e N29,T41 e N30,T45 e N11,T14 e N3,T3 e N38,T44 e N37,T23 e N41,T27 e N2,T2 e N2,T1 e RF2,T47	830
Número médio de clientes afectados	528

Com a análise das Secções isoláveis, a conduta T32, não era aparentemente problemática, isto porque perfaz uma Secção que pode ser isolada com recurso a apenas duas válvulas e não provoca isolamentos involuntários. Porventura, nota-se que é muito dependente das válvulas adjacentes (este facto pode ser comprovado pelo elevado índice de importância das válvulas N15,T32 e N16,T32), podendo uma avaria nela provocar isolamentos de grande dimensão.

Cada conduta devia ser analisada individualmente, facto que corrobora a complexidade da introdução dos estudos de fiabilidade no dimensionamento de sistemas de abastecimento de água, devido ao elevado número de combinações possíveis.

#### 6.2.4. CONCLUSÕES

Da análise anterior deduz-se:

- A RAA instalada tem uma escassez considerável de válvulas, tendo 0.57 por conduta quando o ideal é dois;
- A RAA instalada possui Secções que provocam isolamentos involuntários de elevadas dimensões, nomeadamente S (5), quatrocentos e trinta e dois clientes, S (6), trezentos e trinta clientes e S (1), cento e noventa e um clientes;
- O número médio de condutas por Secção é 2.13, o dobro do requerido para uma RAA ideal;
- Dado a escassez de válvulas e o elevado peso das mesmas na RAA em termos de clientes, qualquer avaria ou omissão faz aumentar significativamente o número de clientes afectados em interrupções de abastecimento.

Em resumo, a escassez de válvulas e o baixo número de condutas de distribuição emalhadas provocam grandes insuficiências de fiabilidade nesta RAA.

### 6.3. REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PROJECTADA PARA SUBSTITUIR A REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INSTALADA

Pretendendo a resolução dos problemas de funcionamento, tanto estruturais como de fiabilidade da RAA descrita anteriormente, uma equipa da Águas do Porto, EEM concebeu um projecto de reformulação total da rede. As avarias sucessivas que esta tem vindo a sofrer ao longo dos anos e a constituição das condutas maioritariamente em fibrocimento (material descontinuado tendo vindo a ser totalmente substituído devido às suas propriedades tóxicas) motivaram a urgência da substituição.

Tal como a RAA descrita anteriormente, esta rede foi modelada em *Epanet* perfazendo os totais de: sessenta e três condutas (Fig.C.1) com quatro mil quinhentos e setenta e um metros, quarenta e seis Nós (Fig.C.2) e dois pontos de abastecimento.

A nova RAA terá cento e catorze válvulas de seccionamento capazes de isolar Secções (Fig.C.4). Para além destas foram admitidas mais três (exactamente como no caso anterior): RF2,T47; RF1,T48 e N44,T48. Neste caso, não foi necessário admitir N2,T47 visto que o projecto contempla a colocação de uma válvula neste Nó.

Nota-se um aumento significativo do número de válvulas de seccionamento e, analisando a configuração de implantação, da porção de rede de distribuição emalhada. Portanto, as falhas de abastecimento serão colmatadas com caminhos de abastecimento alternativos.

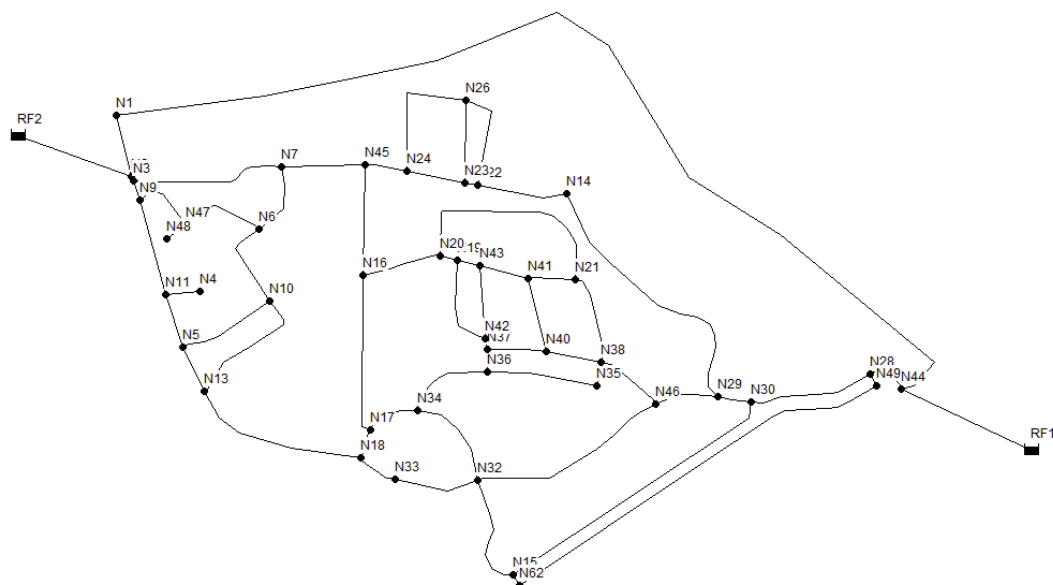


Fig.32 – Nós que compõe a RAA projectada

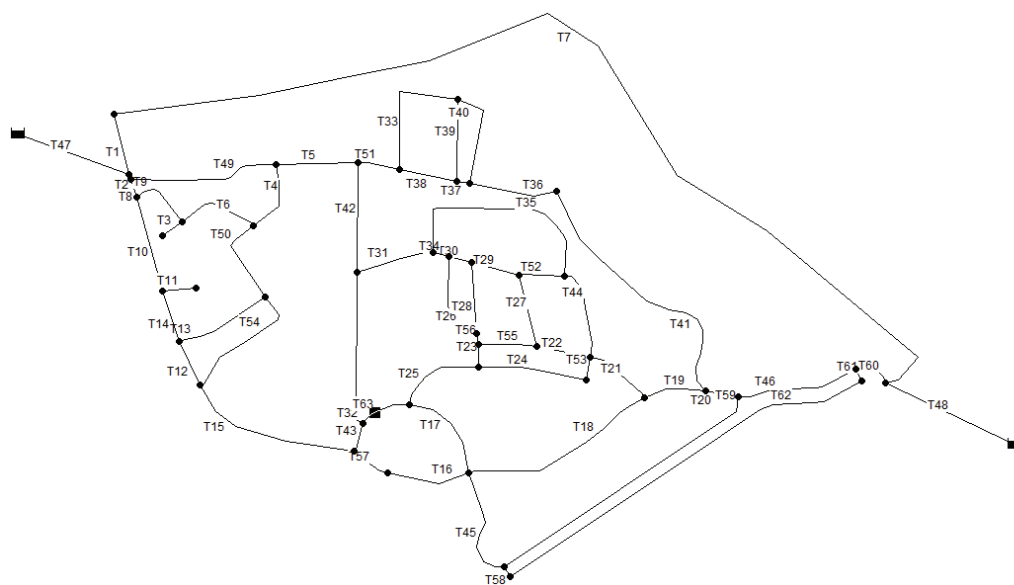


Fig.33 – Condutas que compõe a RAA projectada

### 6.3.1. ANÁLISE DAS SECÇÕES

O primeiro passo é definir as Secções isoláveis da RAA (Fig.C.3). Dado o elevado número de válvulas, passou-se de vinte e três para sessenta Secções e os Nós-Secção passaram de três para quarenta. Superficialmente, isto é um bom indicador do aumento de fiabilidade.

Uma das melhorias que se destaca é o desaparecimento de todos os isolamentos involuntários. Cada conduta passou a ser menos dependente das adjacentes, facto reflectido na redução significativa do índice de importância de cada válvula, o que representa uma implementação de fiabilidade considerável. O número máximo de válvulas a fechar para isolar uma Secção passou de oito para três,

estando agora dentro dos limites aceitáveis. Neste ponto da análise, não se identificam condutas que tenham problemas de fiabilidade em termos de clientes afectados.

Quadro 43 – Secções da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente

	Condutas em cada Secção	Clientes directos	Isolamentos involuntários	Clientes indirectos	Total de clientes	Nº de válvulas
S (0)	S (0) = T1, T7	0	S (0) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	3
S (1)	S (1) = T2	0	S (1) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	3
S (2)	S (2) = T3	19	S (2) = Não provoca isolamentos involuntários	0	19	1
S (3)	S (3) = T5	0	S (3) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (4)	S (4) = T8	0	S (4) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (5)	S (5) = T9	0	S (5) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (6)	S (6) = T10, T11, T14	66	S (6) = Não provoca isolamentos involuntários	0	66	2
S (7)	S (7) = T12	0	S (7) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (8)	S (8) = T13	0	S (8) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (9)	S (9) = T15	64	S (9) = Não provoca isolamentos involuntários	0	64	2
S (10)	S (10) = T16	1	S (10) = Não provoca isolamentos involuntários	0	1	2
S (11)	S (11) = T17	1	S (11) = Não provoca isolamentos involuntários	0	1	2
S (12)	S (12) = T18	65	S (12) = Não provoca isolamentos involuntários	0	65	2
S (13)	S (13) = T19	0	S (13) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (14)	S (14) = T20	2	S (14) = Não provoca isolamentos involuntários	0	2	2
S (15)	S (15) = T21	0	S (15) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2

Quadro 43 – Secções da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (continuação)

	Condutas em cada Secção	Clientes directos	Isolamentos involuntários	Clientes indirectos	Total de clientes	Nº de válvulas
S (16)	S (16) = T22	0	S (16) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (17)	S (17) = T23	0	S (17) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (18)	S (18) = T24	51	S (18) = Não provoca isolamentos involuntários	0	51	2
S (19)	S (19) = T25	28	S (19) = Não provoca isolamentos involuntários	0	28	2
S (20)	S (20) = T26	24	S (20) = Não provoca isolamentos involuntários	0	24	2
S (21)	S (21) = T27	21	S (21) = Não provoca isolamentos involuntários	0	21	2
S (22)	S (22) = T28	22	S (22) = Não provoca isolamentos involuntários	0	22	2
S (23)	S (23) = T29	0	S (23) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (24)	S (24) = T30	0	S (24) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (25)	S (25) = T31	0	S (25) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (26)	S (26) = T32	63	S (26) = Não provoca isolamentos involuntários	0	63	2
S (27)	S (27) = T33	21	S (27) = Não provoca isolamentos involuntários	0	21	2
S (28)	S (28) = T34	0	S (28) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (29)	S (29) = T35	63	S (29) = Não provoca isolamentos involuntários	0	63	2
S (30)	S (30) = T36	0	S (30) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (31)	S (31) = T37	0	S (31) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (32)	S (32) = T38	0	S (32) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2



Quadro 43 – Secções da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (continuação)

	Condutas em cada Secção	Cientes directos	Isolamentos involuntários	Cientes indirectos	Total de clientes	Nº de válvulas
S (33)	S (33) = T39	21	S (33) = Não provoca isolamentos involuntários	0	21	2
S (34)	S (34) = T40	21	S (34) = Não provoca isolamentos involuntários	0	21	2
S (35)	S (35) = T41	0	S (35) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (36)	S (36) = T42	47	S (36) = Não provoca isolamentos involuntários	0	47	2
S (37)	S (37) = T43	0	S (37) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (38)	S (38) = T45	0	S (38) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (39)	S (39) = T46	0	S (39) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (40)	S (40) = T47	0	S (40) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (41)	S (41) = T48	0	S (41) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (42)	S (42) = T63	0	S (42) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (43)	S (43) = T49	60	S (43) = Não provoca isolamentos involuntários	0	60	2
S (44)	S (44) = T50	11	S (44) = Não provoca isolamentos involuntários	0	11	2
S (45)	S (45) = T6	19	S (45) = Não provoca isolamentos involuntários	0	19	2
S (46)	S (46) = T51	0	S (46) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (47)	S (47) = T44	32	S (47) = Não provoca isolamentos involuntários	0	32	2
S (48)	S (48) = T53	0	S (48) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (49)	S (49) = T55	0	S (49) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2

Quadro 43 – Secções da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (continuação)

	Conduitas em cada Secção	Clientes directos	Isolamentos involuntários	Clientes indirectos	Total de clientes	Nº de válvulas
S (50)	S (50) = T56	0	S (50) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (51)	S (51) = T57	0	S (51) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (52)	S (52) = T58	0	S (52) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (53)	S (53) = T59	8	S (53) = Não provoca isolamentos involuntários	0	8	2
S (54)	S (54) = T60	0	S (54) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (55)	S (55) = T61	0	S (55) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (56)	S (56) = T62	18	S (56) = Não provoca isolamentos involuntários	0	18	2
S (57)	S (57) = T54	58	S (57) = Não provoca isolamentos involuntários	0	58	2
S (58)	S (58) = T52	0	S (58) = Não provoca isolamentos involuntários	0	0	2
S (59)	S (59) = T4	24	S (59) = Não provoca isolamentos involuntários	0	24	2

Quadro 44 – Nós-Secção da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Secção	Nó	Secção	Nó	Secção	Nó	Secção	Nó	Secção	Nó
S (60)	N2	S (69)	N16	S (78)	N26	S (87)	N37	S (96)	N47
S (61)	N5	S (70)	N17	S (79)	N28	S (88)	N38	S (97)	N49
S (62)	N6	S (71)	N18	S (80)	N29	S (89)	N40	S (98)	RF1
S (63)	N7	S (72)	N19	S (81)	N30	S (90)	N41	S (99)	RF2
S (64)	N9	S (73)	N20	S (82)	N32	S (91)	N42		
S (65)	N10	S (74)	N21	S (83)	N33	S (92)	N43		
S (66)	N13	S (75)	N22	S (84)	N34	S (93)	N46		
S (67)	N14	S (76)	N23	S (85)	N35	S (94)	N62		
S (68)	N15	S (77)	N24	S (86)	N36	S (95)	N45		

Constata-se no Quadro 44 que a nova RAA terá quarenta N6's-Secção, ou seja dos quarenta e seis Nós existentes na RAA quarenta têm válvulas colocadas segundo o método N. Este aspecto é um dos indicadores do aumento de fiabilidade da nova rede. Contudo, terá um custo que deverá ser avaliado e ponderado.

Analisando o índice de importância das válvulas da RAA projectada (Fig.34, Fig.35, Fig.36 e Fig.37), observa-se que o peso destas em termos de clientes, descerá de um máximo de 69.04% para um máximo de 7.95%. Assim, a avaria de uma válvula ou omissão do fecho de uma válvula terá um impacto muito menos gravoso. A redução do índice anterior provoca no desempenho global da RAA uma menor sensibilidade de cada conduta à avaria/omissão de válvulas.

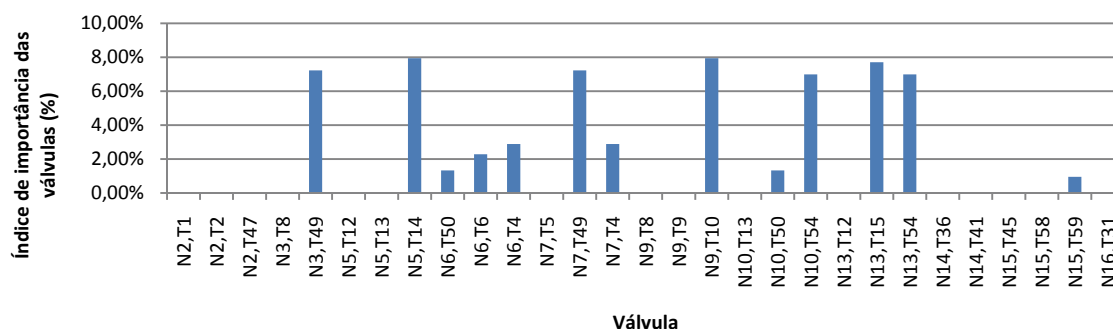


Fig.34 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (1 de 4)

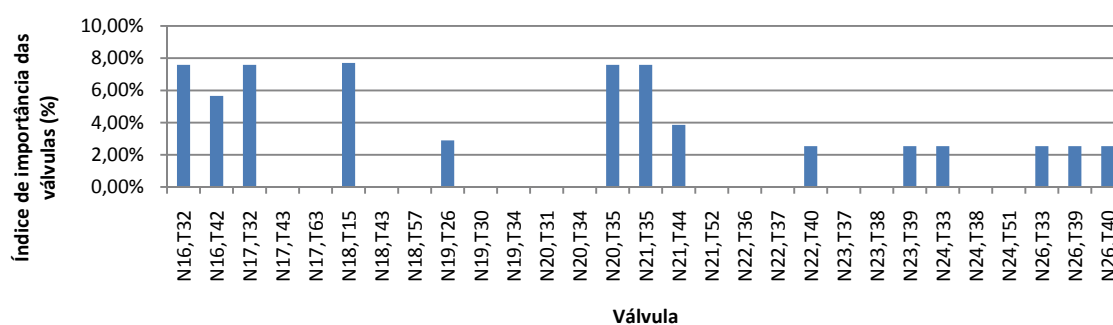


Fig.35 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (2 de 4)

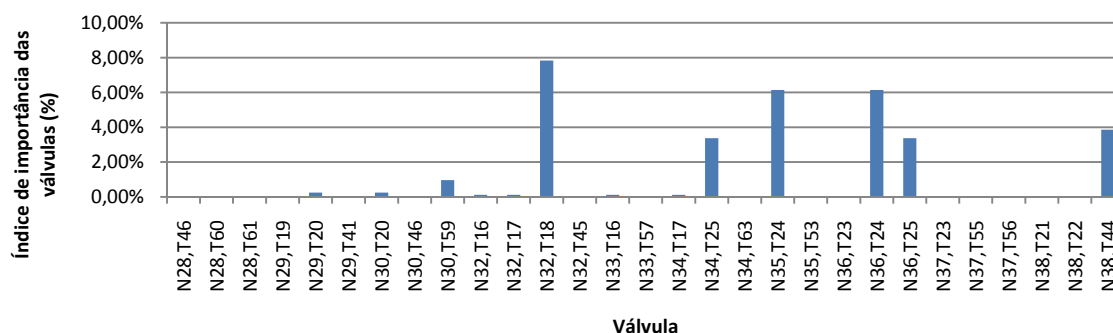


Fig.36 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (3 de 4)

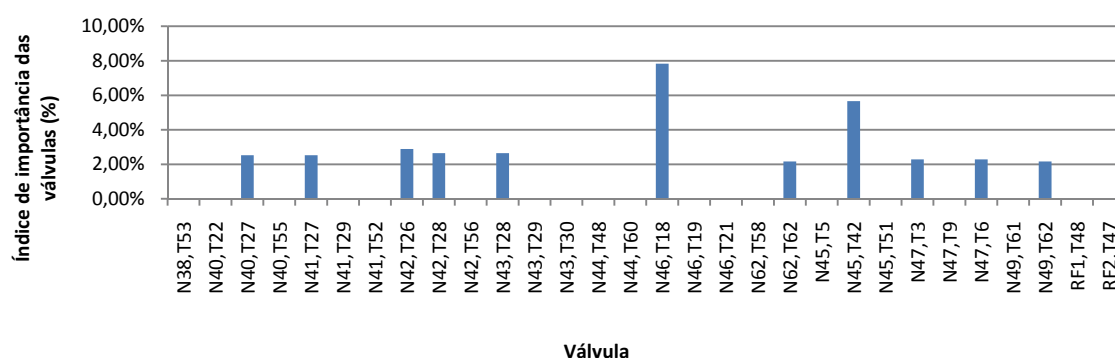


Fig.37 – Índice de importância das válvulas da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (4 de 4)

No Quadro 45 está patente que cada válvula desta rede divide Secções com menor número de clientes e deixou de haver clientes indirectos afectados.

Quadro 45 – Secções que cada válvula projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide

Válvula (Nó, Conduta)	Secção 1	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes	Secção 2	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes
N2,T1	S (0)	0	0	0	S (60)	0	0	0
N2,T2	S (1)	0	0	0	S (60)	0	0	0
N2,T47	S (40)	0	0	0	S (60)	0	0	0
N3,T8	S (1)	0	0	0	S (4)	0	0	0
N3,T49	S (1)	0	0	0	S (43)	60	0	60
N5,T12	S (7)	0	0	0	S (61)	0	0	0
N5,T13	S (8)	0	0	0	S (61)	0	0	0
N5,T14	S (6)	66	0	66	S (61)	0	0	0
N6,T50	S (44)	11	0	11	S (62)	0	0	0
N6,T6	S (45)	19	0	19	S (62)	0	0	0
N6,T4	S (59)	24	0	24	S (62)	0	0	0
N7,T5	S (3)	0	0	0	S (63)	0	0	0
N7,T49	S (43)	60	0	60	S (63)	0	0	0
N7,T4	S (59)	24	0	24	S (63)	0	0	0
N9,T8	S (4)	0	0	0	S (64)	0	0	0
N9,T9	S (5)	0	0	0	S (64)	0	0	0
N9,T10	S (6)	66	0	66	S (64)	0	0	0

Quadro 45 – Secções que cada válvula projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide  
(continuação)

Válvula (Nó, Conduta)	Secção 1	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes	Secção 2	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes
N10,T13	S (8)	0	0	0	S (65)	0	0	0
N10,T50	S (44)	11	0	11	S (65)	0	0	0
N10,T54	S (57)	58	0	58	S (65)	0	0	0
N13,T12	S (7)	0	0	0	S (66)	0	0	0
N13,T15	S (9)	64	0	64	S (66)	0	0	0
N13,T54	S (57)	58	0	58	S (66)	0	0	0
N14,T36	S (30)	0	0	0	S (67)	0	0	0
N14,T41	S (35)	0	0	0	S (67)	0	0	0
N15,T45	S (38)	0	0	0	S (68)	0	0	0
N15,T58	S (52)	0	0	0	S (68)	0	0	0
N15,T59	S (53)	8	0	8	S (68)	0	0	0
N16,T31	S (25)	0	0	0	S (69)	0	0	0
N16,T32	S (26)	63	0	63	S (69)	0	0	0
N16,T42	S (36)	47	0	47	S (69)	0	0	0
N17,T32	S (26)	63	0	63	S (70)	0	0	0
N17,T43	S (37)	0	0	0	S (70)	0	0	0
N17,T63	S (42)	0	0	0	S (70)	0	0	0
N18,T15	S (9)	64	0	64	S (71)	0	0	0
N18,T43	S (37)	0	0	0	S (71)	0	0	0
N18,T57	S (51)	0	0	0	S (71)	0	0	0
N19,T26	S (20)	24	0	24	S (72)	0	0	0
N19,T30	S (24)	0	0	0	S (72)	0	0	0
N19,T34	S (28)	0	0	0	S (72)	0	0	0
N20,T31	S (25)	0	0	0	S (73)	0	0	0
N20,T34	S (28)	0	0	0	S (73)	0	0	0
N20,T35	S (29)	63	0	63	S (73)	0	0	0
N21,T35	S (29)	63	0	63	S (74)	0	0	0
N21,T44	S (47)	32	0	32	S (74)	0	0	0

Quadro 45 – Secções que cada válvula projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide  
(continuação)

Válvula (Nó, Conduta)	Secção 1	Cientes directos	Cientes indirectos	Total de clientes	Secção 2	Cientes directos	Cientes indirectos	Total de clientes
N21,T52	S (58)	0	0	0	S (74)	0	0	0
N22,T36	S (30)	0	0	0	S (75)	0	0	0
N22,T37	S (31)	0	0	0	S (75)	0	0	0
N22,T40	S (34)	21	0	21	S (75)	0	0	0
N23,T37	S (31)	0	0	0	S (76)	0	0	0
N23,T38	S (32)	0	0	0	S (76)	0	0	0
N23,T39	S (33)	21	0	21	S (76)	0	0	0
N24,T33	S (27)	21	0	21	S (77)	0	0	0
N24,T38	S (32)	0	0	0	S (77)	0	0	0
N24,T51	S (46)	0	0	0	S (77)	0	0	0
N26,T33	S (27)	21	0	21	S (78)	0	0	0
N26,T39	S (33)	21	0	21	S (78)	0	0	0
N26,T40	S (34)	21	0	21	S (78)	0	0	0
N28,T46	S (39)	0	0	0	S (79)	0	0	0
N28,T60	S (54)	0	0	0	S (79)	0	0	0
N28,T61	S (55)	0	0	0	S (79)	0	0	0
N29,T19	S (13)	0	0	0	S (80)	0	0	0
N29,T20	S (14)	2	0	2	S (80)	0	0	0
N29,T41	S (35)	0	0	0	S (80)	0	0	0
N30,T20	S (14)	2	0	2	S (81)	0	0	0
N30,T46	S (39)	0	0	0	S (81)	0	0	0
N30,T59	S (53)	8	0	8	S (81)	0	0	0
N32,T16	S (10)	1	0	1	S (82)	0	0	0
N32,T17	S (11)	1	0	1	S (82)	0	0	0
N32,T18	S (12)	65	0	65	S (82)	0	0	0
N32,T45	S (38)	0	0	0	S (82)	0	0	0
N33,T16	S (10)	1	0	1	S (83)	0	0	0
N33,T57	S (51)	0	0	0	S (83)	0	0	0

Quadro 45 – Secções que cada válvula projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide  
(continuação)

Válvula (Nó, Conduta)	Secção 1	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes	Secção 2	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes
N34,T17	S (11)	1	0	1	S (84)	0	0	0
N34,T25	S (19)	28	0	28	S (84)	0	0	0
N34,T63	S (42)	0	0	0	S (84)	0	0	0
N35,T24	S (18)	51	0	51	S (85)	0	0	0
N35,T53	S (48)	0	0	0	S (85)	0	0	0
N36,T23	S (17)	0	0	0	S (86)	0	0	0
N36,T24	S (18)	51	0	51	S (86)	0	0	0
N36,T25	S (19)	28	0	28	S (86)	0	0	0
N37,T23	S (17)	0	0	0	S (87)	0	0	0
N37,T55	S (49)	0	0	0	S (87)	0	0	0
N37,T56	S (50)	0	0	0	S (87)	0	0	0
N38,T21	S (15)	0	0	0	S (88)	0	0	0
N38,T22	S (16)	0	0	0	S (88)	0	0	0
N38,T44	S (47)	32	0	32	S (88)	0	0	0
N38,T53	S (48)	0	0	0	S (88)	0	0	0
N40,T22	S (16)	0	0	0	S (89)	0	0	0
N40,T27	S (21)	21	0	21	S (89)	0	0	0
N40,T55	S (49)	0	0	0	S (89)	0	0	0
N41,T27	S (21)	21	0	21	S (90)	0	0	0
N41,T29	S (23)	0	0	0	S (90)	0	0	0
N41,T52	S (58)	0	0	0	S (90)	0	0	0
N42,T26	S (20)	24	0	24	S (91)	0	0	0
N42,T28	S (22)	22	0	22	S (91)	0	0	0
N42,T56	S (50)	0	0	0	S (91)	0	0	0
N43,T28	S (22)	22	0	22	S (92)	0	0	0
N43,T29	S (23)	0	0	0	S (92)	0	0	0
N43,T30	S (24)	0	0	0	S (92)	0	0	0
N44,T48	S (0)	0	0	0	S (41)	0	0	0

Quadro 45 – Secções que cada válvula projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente divide  
(continuação)

Válvula (Nó, Conduta)	Secção 1	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes	Secção 2	Clientes directos	Clientes indirectos	Total de clientes
N44,T60	S (0)	0	0	0	S (54)	0	0	0
N46,T18	S (12)	65	0	65	S (93)	0	0	0
N46,T19	S (13)	0	0	0	S (93)	0	0	0
N46,T21	S (15)	0	0	0	S (93)	0	0	0
N62,T58	S (52)	0	0	0	S (94)	0	0	0
N62,T62	S (56)	18	0	18	S (94)	0	0	0
N45,T5	S (3)	0	0	0	S (95)	0	0	0
N45,T42	S (36)	47	0	47	S (95)	0	0	0
N45,T51	S (46)	0	0	0	S (95)	0	0	0
N47,T3	S (2)	19	0	19	S (96)	0	0	0
N47,T9	S (5)	0	0	0	S (96)	0	0	0
N47,T6	S (45)	19	0	19	S (96)	0	0	0
N49,T61	S (55)	0	0	0	S (97)	0	0	0
N49,T62	S (56)	18	0	18	S (97)	0	0	0
RF1,T48	S (41)	0	0	0	S (98)	0	0	0
RF2,T47	S (40)	0	0	0	S (99)	0	0	0

### 6.3.2. INDICADORES

Tal como para a RAA instalada, poderão ser calculados os indicadores para a RAA projectada. No Quadro 46, são apresentados os valores. Estes são comparados com os da RAA instalada e da RAA ideal, podendo-se deste modo avaliar o impacto das medidas tomadas na fiabilidade da rede.

Quadro 46 – Indicadores da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Indicadores	Unidades	RAA projectada	RAA instalada	RAA Ideal
Número de válvulas	-	114	24	-
Comprimento total de condutas	M	4571.2	3557.4	-
Fiabilidade das válvulas admitida	-	95%	95%	-
Comprimento médio das Secções	m/secção	76.19	154.67	-
Número médio de válvulas por conduta	Válvula/conduta	1.86	0.57	2



Quadro 46 – Indicadores da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente (continuação)

Indicadores	Unidades	RAA projectada	RAA instalada	RAA Ideal
Número médio de válvulas a fechar para isolar uma Secção	Válvula/secção	2.02	2.22	2
Rácio comprimento por válvula	m/válvula	39.07	127.05	-
Impacto da avaria de uma válvula	Clientes/válvula	14.03	271.86	-
Fiabilidade média de isolar uma Secção	Fiabilidade/secção	90%	90%	90%
Número médio de condutas por Secção	Conduta/secção	1.05	2.13	1

Nota-se uma aproximação pronunciada da nova RAA dos parâmetros desejados para uma RAA ideal. Poder-se-á até dizer que o número médio de válvulas para fechar uma Secção, 2.02, e o número médio de condutas por Secção, 1.05, são iguais aos valores de referência. O comprimento médio das Secções reduzir-se-á para cerca de metade, o que é também uma prova de aumento significativo de fiabilidade. O impacto da avaria de uma válvula, em termos de clientes médios, diminui para cerca de vinte vezes. O número médio de válvulas por conduta também sofrerá um ganho significativo, mais de três vezes superior. Contudo, será necessário equacionar a nível orçamental, se os ganhos significativos de fiabilidade comprovados justificam o investimento.

### 6.3.3. ANÁLISE PROBABILÍSTICA

Tal como no subcapítulo 6.2.3, efectuar-se-á na RAA projectada trinta e cinco simulações de interrupções de abastecimento em cada conduta, considerando a fiabilidade das válvulas de 95% e 50%. Como a RAA projectada vai ser instalada de raiz, a fiabilidade mecânica das válvulas estará muito provavelmente entre os 90% e 95%, logo o sucesso do isolamento das Secções passará a depender praticamente só da não omissão de válvulas pelas ER.

Quadro 47 – Número médio de clientes da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas

Conduta	Fiabilidade das válvulas 95 %	Fiabilidade das válvulas 50 %	Diferença de clientes afectados (Fiabilidade 50% - Fiabilidade 95%)
	Número médio de clientes afectados em trinta e cinco combinações		
T1	95	499	404
T2	7	260	253
T3	19	36	17
T4	24	102	78
T5	1	65	64

Quadro 47 – Número médio de clientes da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas (continuação)

Conduta	Fiabilidade das válvulas: 95 %	Fiabilidade das válvulas: 50 %	Diferença de clientes afectados (Fiabilidade 50% - Fiabilidade 95%)
	Número médio de clientes afectados em trinta e cinco combinações		
T6	20	72	52
T7	47	454	407
T8	0	104	104
T9	1	59	58
T10	66	162	96
T11	66	87	21
T12	0	43	43
T13	0	45	45
T14	66	108	42
T15	64	88	24
T16	3	25	22
T17	1	41	40
T18	65	71	6
T19	0	10	10
T20	2	13	11
T21	0	34	34
T22	1	41	40
T23	0	39	39
T24	51	75	24
T25	28	59	31
T26	24	55	31
T27	21	30	9
T28	22	36	14
T29	0	18	18
T30	0	17	17
T31	0	52	52
T32	63	99	36
T33	21	60	39

Quadro 47 – Número médio de clientes da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas (continuação)

Conduta	Fiabilidade das válvulas: 95 %	Fiabilidade das válvulas: 50 %	Diferença de clientes afectados (Fiabilidade 50% - Fiabilidade 95%)
	Número médio de clientes afectados em trinta e cinco combinações		
T34	2	41	39
T35	64	97	33
T36	0	10	10
T37	1	23	22
T38	0	28	28
T39	21	32	11
T40	21	35	14
T41	0	9	9
T42	49	85	36
T43	0	36	36
T44	32	63	31
T45	0	30	30
T46	0	32	32
T47	24	245	221
T48	0	167	167
T49	60	156	96
T50	11	69	58
T51	0	38	38
T52	2	50	48
T53	0	48	48
T54	58	93	35
T55	0	18	18
T56	0	30	30
T57	0	31	31
T58	0	48	48
T59	8	40	32
T60	0	238	238
T61	0	53	53

Quadro 47 – Número médio de clientes da RAA projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente afectados em cortes de água em função da fiabilidade das válvulas (continuação)

Conduta	Fiabilidade das válvulas: 95 %	Fiabilidade das válvulas: 50 %	Diferença de clientes afectados (Fiabilidade 50% - Fiabilidade 95%)
	Número médio de clientes afectados em trinta e cinco combinações		
T62	18	71	53
T63	0	49	49
Média de clientes adicionais afectados			60

Comparando o Quadro 40 com o Quadro 47, está patente a redução de afectação média, de duzentos e treze para sessenta clientes. Apresentar-se-á, a seguir uma análise descritiva da conduta T32 com o novo esquema de válvulas e configuração da RAA, comparando os resultados com a instalada.

Quadro 48 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 95%

Fiabilidade das válvulas 95 %	
Válvulas avariadas	Clientes afectados
Nenhuma válvula falha (35 vezes)	63
Número médio de clientes afectados	63

Quadro 49 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 50%

Fiabilidade das válvulas 50 %	
Válvulas avariadas	Clientes afectados
Nenhuma válvula falha (8 vezes)	63
N17,T32 e N17,T43 e N17,T63 e N18,T43 e N18,T15 e N18,T57 e N13,T15 e N33,T57 e N13,T54	185
N16,T32 (3 vezes)	63
N16,T32 e N17,T32 e N16,T31 e N17,T63 e N20,T31 e N34,T63 e N34,T17 e N34,T25 e N32,T17 e N36,T25 e N32,T45 e N36,T23 e N36,T24	143
N16,T32 e N17,T32 e N16,T31 e N17,T43 e N17,T63 e N20,T31 e N20,T35	126
N16,T32 e N16,T31 e N16,T42 e N45,T42 e N45,T5	110
N16,T32 e N16,T31 e N20,T31 e N20,T35 e N21,T35	126
N16,T32 e N17,T32 e N17,T43 e N18,T43 e N18,T15 e N18,T57 e N33,T57 e N33,T16 N32,T16 e N32,T17 e N32,T18 e N34,T17 e N34,T25	222
N16,T32 e N16,T31 e N16,T42 e N20,T31 e N45,T42 e N20,T34 e N45,T5	110
N16,T32 e N17,T32 e N16,T31 e N16,T42 e N20,T31 e N45,T42 e N45,T5	110

Quadro 49 – Trinta e cinco cortes de água na conduta T32 com fiabilidade das válvulas 50% (continuação)

Fiabilidade das válvulas 50 %	
Válvulas avariadas	Clientes afectados
N16,T32 e N17,T32 e N16,T42 E N45,T42	110
N16,T32 e N16,T31 e N20,T31 e N20,T35 (2 vezes)	126
N16,T32 e N16,T31 e N20,T31 e N20,T34	63
N17,T32 e N17,T63 (3 vezes)	63
N16,T32 e N17,T32 e N16,T31 e N17,T43 e N17,T63 e N20,T31 e N18,T43 e N20,T34 e N20,T35 e N18,T15 e N18,T57 e N33,T57	190
N16,T32 e N16,T31 e N16,T42 e N45,T42 e N45,T51	110
N17,T32 e N17,T43 e N18,T43	63
N16,T32 e N17,T32 e N16,T42 e N17,T63 e N34,T63 e N34,T17	111
N16,T32 e N16,T31 e N16,T42 e N20,T31 e N20,T34 e N19,T34 e N19,T26 e N19,T30	134
N16,T32 e N17,T32 e N16,T31	63
N17,T32 e N17,T43 e N18,T43 e N18,T15	127
N16,T32 e N16,T42 e N45,T42 e N45,T5 e N45,T51	110
N16,T32 e N17,T32 e N16,T42 e N17,T43 e N45,T42	110
Número médio de clientes afectados	99

Confrontando os Quadros 41 e 42 com os Quadros 48 e 49, conclui-se que, como cada válvula tem um peso na RAA em termos de clientes mais baixo, a probabilidade destas falharem é menor. Logo, em termos de clientes, há um decréscimo pronunciado da afectação. Com o novo esquema de válvulas global na RAA, a conduta T32 que anteriormente notava-se ser sensível à fiabilidade das válvulas, para uma fiabilidade das válvulas de 50% passou para uma média de quinhentos e vinte e oito clientes para noventa e nove, melhoria muito apreciável.

A redução do índice de importância das válvulas e o aumento do número de válvulas implicaram que cada Secção tenha ficado com menos clientes afectados, portanto, se uma Secção adjacente for isolada, menos clientes totais ficam sem serviço.

#### 6.3.4. CONCLUSÕES

Finalmente, analisando a RAA projectada e comparando-a com a RAA instalada que será removida, conclui-se:

- A RAA projectada possui um número de válvulas muito perto do ideal, tendo 1.86 por conduta quando o ideal é dois;
- A RAA projectada resolverá os problemas das Secções que provocam isolamentos involuntários;

- O número médio de condutas por Secção passará para 1.05, mais uma vez perto do valor ideal;
- Com o elevado número de válvulas e a utilização na maior parte dos Nós do método N, cada conduta terá menor sensibilidade a interrupções de abastecimento. O número médio de clientes da RAA estimado para a avaria de uma válvula passará de 271.86 clientes por válvula para 14.03 clientes por válvula (com fiabilidade das válvulas admitida de 95%).

A colocação de cerca de cinco vezes mais válvulas e o quilómetro adicional de rede (que produz novas malhas) induzem notoriamente um impacto positivo na redução dos clientes afectados por um corte de abastecimento. O inconveniente das soluções deste tipo é o elevado custo de investimento. O custo *versus* benefício desta solução é difícil de quantificar, uma vez que o custo é maior do que soluções executadas pelo método N-1, mas o benefício inerente ao cliente é o mais elevado. A empresa deverá seguir ou a tendência da poupança ou a satisfação do cliente. Para além disto, constatou-se com ênfase o elevado número de combinações possíveis para o pequeno subsistema estudado. Se análise fosse efectuada para a cidade do Porto tendo em conta as cerca de oito mil válvulas, o número de combinações seria astronómico. Dentro do número vasto de combinações, é difícil avaliar qual a mais desfavorável e qual a mais provável de ocorrer. Deste modo, comprova-se a extrema complexidade da introdução das análises de fiabilidade na fase de projecto de redes de abastecimento água.

#### 6.4. REGISTO DE RECLAMAÇÕES DA RUA PAULO DA GAMA E SUA ENVOLVENTE NOS ANOS DE 2007, 2008 E 2009

Tal como referido no subcapítulo 5.1, a Águas do Porto, EEM, possui um sistema de recolha e armazenamento de dados relativos à sua actividade de exploração. Apresentar-se-á neste subcapítulo o registo de reclamações de 2007, 2008 e 2009 referentes a Rua Paulo da Gama e sua envolvente, analisando os problemas de fiabilidade, amostragem de dados e cálculo do índice QS13. Os dados serão apresentados, tal como foram recolhidos, para ser possível elaborar uma crítica sobre o modo de recolha.

##### 6.4.1 REGISTO DE RECLAMAÇÕES DE 2007

Neste ano houve seis reclamações relacionadas com cortes de abastecimento, de entre as quais quatro estão relacionadas com o isolamento de Secções. As interrupções de abastecimento nas redes de abastecimento água são efectuadas pelo fecho das válvulas de seccionamento. No entanto, nem todas as intervenções requerem o fecho destas, podendo ser necessário apenas fechar a válvula do ramal domiciliário, a válvula do marco de incêndio ou a válvula do contador. O fecho de cada uma é equacionado pelas ER consoante a tipologia da avaria.

Quadro 50 – Reclamações efectuadas no ano de 2007

	Rua	Nº de Policia	Reclamação	Tempo da intervenção [min]	Clientes afectados	Secção
1	Gaspar Correia	195	Ramal Domiciliário (Rotura)	70	1	-
2	Senhora da Ajuda	51	Conduta (Rotura)	89	573	S (5)
3	João Baptista Lavanha	95	Ramal Geral (Rotura)	145	79	S (7)

Quadro 50 – Reclamações efectuadas no ano de 2007 (continuação)

	Rua	Nº de Policia	Reclamação	Tempo da intervenção [min]	Clientes afectados	Secção
4	João Baptista Lavanha	33	Ramal Geral (Rotura)	30	79	S (7)
5	Paulo da Gama	Próx. da paragem de autocarro	Ramal Domiciliário (Rotura)	100	1	-
6	João Baptista Lavanha	Frente ao 22	Conduta (Rotura)	119	32	S (18)
Total			6	553	765	4

O estudo realizado no subcapítulo 6.2, tal como referido anteriormente, é feito ao nível das condutas. Estas fornecem abastecimento a um conjunto de ramais domiciliários. Portanto, no modelo, uma rotura num ramal domiciliário *per si* não é simulado. Apesar disto, estes representam uma parte considerável das reclamações. É pouco provável um ramal domiciliário sofrer várias roturas derivado do facto de estes serem troços curtos, de pequeno diâmetro e geralmente facilmente substituíveis.

Acontece que na óptica da recolha de dados para o cálculo do QS13, é necessário estimar todos os clientes afectados por cortes de abastecimento, tanto de roturas em condutas como de roturas em ramais domiciliários. Neste contexto o problema prende-se nas roturas de condutas, visto que a equipa de reparação, como explanado anteriormente, consegue facilmente identificar se fechou a válvula do ramal e estes clientes são exequíveis de serem contabilizados por esta. Portanto, é impossível as ER contabilizarem os clientes afectados por uma avaria numa determinada conduta, mas pelo contrário é relativamente fácil quando o corte de abastecimento for efectuado no ramal domiciliário.

As ER da Águas do Porto, EEM registam vários dados, uns com veracidade, outros sem exactidão. Neste ponto, será feita uma tentativa de cálculo do indicador QS13. Para o calcular, será necessário obter as variáveis D35 e F1, e admitir H1 (tal como enunciado no subcapítulo 3.2). F1 serão os oitocentos e trinta clientes da Rua Paulo da Gama e sua envolvente e H1 será tomado um ano. Tal como constatado ao longo do trabalho, o problema está na determinação de D35. Aproximar-se-á o valor do seguinte modo: (1) o número de clientes afectados será determinado segundo a tipologia da reclamação, considerando que as válvulas dos ramais de ligação domiciliária e as válvulas de seccionamento estão funcionais e são localizadas correctamente pelas ER, (2) o tempo de afectação de cada reclamação será considerado igual ao tempo que é registado na folha de intervenção, chamada de Nota de Serviço, na qual consta o tempo total da intervenção.

Há dois pontos fulcrais a destacar: (1) o número de pessoas na maior parte das vezes será maior ao admitido, devido à lacuna operacional de as ER nem sempre conseguirem localizar no terreno as válvulas a fechar para isolar estritamente a Secção afectada; (2) o tempo de enquadramento da intervenção é fidedigno e bem registado dentro da empresa, mas este induz no indicador um erro de excesso pois inclui o tempo de movimentos de terra, reposição de pavimento provisório e reparação da conduta. Por vezes, será muito diferente, porque, a água poderá já estar cortada mas a movimentação de terras é muito sensível às condições de tráfego. No tempo registado, devido à variabilidade de situações, torna-se impossível estimar quanto dura cada fase da intervenção.

- Tempo total de afectação no ano 2007: 553 minutos

- Número total de clientes sem água no ano 2007: 765 clientes

$$QS13 = \frac{\frac{553}{60} \times 765}{365 \times 24 \times 830} \times 100 = 0.10\% \quad (26)$$

$$\% \text{ de tempo sem serviço} = \frac{\frac{553}{60}}{365 \times 24} \times 100 = 0.11\% \quad (27)$$

$$\% \text{ de clientes afectados} = \frac{765}{830} \times 100 = 92.2\% \quad (28)$$

Pela equação (26), o indicador QS13 para esta zona no ano 2007 será de cerca 0.10%. Este valor é relativamente baixo, indicando que a zona foi fiável neste ano. Analisando cada parcela separadamente, o que mais se destaca é o tempo de afectação muito curto de cerca de 0.4 dias, encontrando-se abaixo do valor limite estabelecido como aceitável de três dias por ano sem serviço. O número de clientes afectados foi praticamente igual ao número de clientes totais abastecidos na zona. Percentualmente, todos os clientes da zona ficaram pelo menos uma vez sem serviço neste ano (contudo não significa que cada cliente ficou sem abastecimento uma vez neste ano: uns terão ficado mais de uma vez sem serviço e terá havido clientes que não foram afectados). Tendo em conta que o número de clientes afectados contém erros de escassez e o tempo de afectação contém erros de excesso, o valor do QS13 terá sido aproximadamente igual ao determinado. No entanto, O intuito principal é a comparação evolutiva anual.

#### 6.4.2 REGISTO DE RECLAMAÇÕES DE 2008

A seguir será analisado o ano de 2008, nos mesmos moldes do anterior.

Quadro 51 – Reclamações efectuadas no ano de 2008

	Rua	Nº de Policia	Reclamação	Tempo da intervenção [min]	Clientes afectados	Secção
1	João Baptista Lavanha	S/N	Conduta (Rotura)	252	351	S (6)
2	Pedro Escobar	Frente 11	Conduta (Rotura)	167	126	S (12)
3	Estevão Gomes	Frente ao 92	Conduta (Rotura)	166	58	S (3)
4	João Baptista Lavanha	32 Capelinha da Sª da Ajuda	Conduta (Rotura)	152	573	S (5)
5	Paulo da Gama	540	Conduta (Rotura)	256	63	S (10)
6	Gaspar Correia	130	Conduta (Rotura)	145	18	S (19)
7	João Baptista Lavanha	33	Conduta (Rotura)	224	79	S (7)
8	Paulo da Gama	ETAR de Sobreiras	Conduta (Rotura)	111	573	S (5)
9	Paulo da Gama	Frente R. Varanda barr	Conduta (Rotura)	138	573	S (5)



Quadro 51 – Reclamações efectuadas no ano de 2008 (continuação)

	Rua	Nº de Policia	Reclamação	Tempo da intervenção [min]	Clientes afectados	Secção
10	Paulo da Gama	Pingo Doce	Conduta (Rotura)	219	573	S (5)
11	Gaspar Correia	147	Ramal Domiciliário (Rotura)	120	1	-
12	João Baptista Lavanha	Junto à Capela	Conduta (Rotura)	103	573	S (5)
13	João Baptista Lavanha	Ao inicio da rua	Ramal Domiciliário (Rotura)	35	12	-
Total			13	2088	3573	11

Claramente houve um acréscimo significativo de reclamações passando das seis, do ano anterior, para treze. Deste acréscimo, sobressai o aumento significativo das roturas. Portanto, neste ano terá sido necessário accionar as válvulas de seccionamento cerca de onze vezes.

- Tempo total de afectação no ano 2008: 2088 minutos
- Número total de clientes sem água no ano 2008: 3573 clientes

$$QS13 = \frac{\frac{2088}{60} \times 3573}{365 \times 24 \times 830} \times 100 = 1.71\% \quad (29)$$

$$\% \text{ de tempo sem serviço} = \frac{\frac{2088}{60}}{365 \times 24} \times 100 = 0.40\% \quad (30)$$

$$\% \text{ de clientes afectados} = \frac{3573}{830} \times 100 = 430.5\% \quad (31)$$

Houve uma tendência clara de degradação da RAA. Contudo, considerando aceitável que o QS13 não deve exceder os 5%, ainda assim registou-se um valor aceitável de fiabilidade. Isto deveu-se ao tempo de afectação continuar a ser relativamente baixo e menor comparativamente ao máximo admissível de 0.82%. Por outro lado, o número de clientes afectados aumentou muito significativamente, para um valor que se poderá classificar como inaceitável. O aumento do número de clientes afectados é um dos indicadores que sugere uma reformulação do esquema de válvulas e/ou RAA com o propósito de diminuir o número de clientes em cada troço, tal como descrito no subcapítulo 3.3.1.

#### 6.4.3 REGISTO DE RECLAMAÇÕES DE 2009

Por último, serão analisadas as reclamações referentes ao 2009. O acréscimo de reclamações neste ano não se manteve na mesma proporção do ano 2007 para 2008, ainda assim registou-se igualmente um aumento de treze, em 2008, para dezoito, em 2009.

Quadro 52 – Reclamações efectuadas no ano de 2009

	Rua	Nº de Policia	Reclamação	Tempo da intervenção [min]	Clientes afectados	Secção
1	Paulo da Gama	470 a 516	Ramal Geral (Rotura)	115	573	S (5)
2	Paulo da Gama	Bº Rainha. D. Leonor	Ramal Domiciliário (Rotura)	85	0	S (20)
3	Gaspar Correia	Rua Paulo da Gama	Conduta (Rotura)	136	18	S (19)
4	João Baptista Lavanha	Início da rua	Conduta (Rotura)	114	79	S (7)
5	João Baptista Lavanha	134	Ramal Domiciliário (Rotura)	90	12	-
6	Gaspar Correia	258	Ramal Domiciliário (Rotura)	80	1	-
7	Paulo da Gama	420	Conduta (Rotura)	452	573	S (5)
8	Paulo da Gama	420	Conduta (Rotura)	225	573	S (5)
9	Paulo da Gama	Frente ao 420	Conduta (Rotura)	262	573	S (5)
10	João Baptista Lavanha	Junto ao 100	Conduta (Rotura)	220	22	S (8)
11	Gaspar Correia	206	Conduta (Rotura)	270	18	S (19)
12	Gaspar Correia	166	Conduta (Rotura)	162	18	S (19)
13	Gaspar Correia	Junto ao 166	Conduta (Rotura)	52	18	S (19)
14	Paulo da Gama	Próx. pousada da juventude	Conduta (Rotura)	218	573	S (5)
15	Gaspar Correia	258	Conduta (Rotura)	136	18	S (19)
16	Pedro Escobar	79	Ramal Domiciliário (Rotura)	60	1	-

Quadro 52 – Reclamações efectuadas no ano de 2009 (continuação)

	Rua	Nº de Policia	Reclamação	Tempo da intervenção [min]	Clientes afectados	Secção
17	Paulo da Gama	Próx. Do 550	Conduta (Rotura)	281	573	S (5)
18	Paulo da Gama	Atrás do Nº 25	Ramal Domiciliário (Rotura)	115	66	-
Total			18	3073	3709	14

- Tempo total de afectação no ano 2009: 3073 minutos
- Número total de clientes sem água no ano 2008: 3709 clientes

$$QS13 = \frac{\frac{3073}{60} \times 3709}{365 \times 24 \times 830} \times 100 = 2.61\% \quad (32)$$

$$\% \text{ de tempo sem serviço} = \frac{\frac{3073}{60}}{365 \times 24} \times 100 = 0.58\% \quad (33)$$

$$\% \text{ de clientes afectados} = \frac{3709}{830} \times 100 = 447\% \quad (34)$$

Uma vez mais, verificou-se uma tendência de deterioração da RAA. O QS13 aproximou-se do máximo admissível de 5%. O número de clientes afectados é que teve novamente o maior peso no valor. Contudo, neste ano, o tempo de afectação aproximou-se notoriamente do limite considerado aceitável.

#### 6.4.4 DADOS REGISTADOS NECESSÁRIOS PARA CALCULAR O QS13

A empresa Águas do Porto, EEM, tal como referido anteriormente, tem um modelo de recolha de dados que visa o cálculo do QS13. A seguir, apresentar-se-á os dados que foram recolhidos referentes às reclamações expostas anteriormente.

Quadro 53 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 em 2007

Registado em 2007						
	Rua	Nº de Pessoas	Data de Fecho	Hora de Fecho	Data de Abertura	Hora de abertura
1	Gaspar Correia	0	-	-	30-08	10:40
2	Senhora da Ajuda	5	09-11	14:38	09-11	16:15
3	João Baptista Lavanha	100	28-11	09:10	28-11	11:30
4	João Baptista Lavanha	0	-	-	10-12	11:40
5	Paulo da Gama	0	20-12	09:35	20-12	11:00
6	João Baptista Lavanha	300	25-12	09:55	25-12	11:50

Quadro 54 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 em 2008

Registado em 2008						
	Rua	Nº de Pessoas	Data de Fecho	Hora de Fecho	Data de Abertura	Hora de abertura
1	João Baptista Lavanha	500	27-01	09:50	27-01	13:55
2	Pedro Escobar	250	09-02	10:25	09-02	11:40
3	Estevão Gomes	-	-	-	-	-
4	João Baptista Lavanha	100	21-03	09:30	-	-
5	Paulo da Gama	200	08-05	01:30	-	-
6	Gaspar Correia	100	13-05	18:10	13-05	20:25
7	João Baptista Lavanha	-	-	-	-	-
8	Paulo da Gama	0	18-06	14:45	-	-
9	Paulo da Gama	300	11-07	23:50	12-07	04:25
10	Paulo da Gama	300	12-07	07:55	12-07	12:00
11	Gaspar Correia	0	14-07	17:45	14-07	20:05
12	João Baptista Lavanha	50	02-09	08:00	03-09	10:00
13	João Baptista Lavanha	-	-	-	-	-

Quadro 55 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 em 2009

Registado em 2009						
	Rua	Nº de Pessoas	Data de Fecho	Hora de Fecho	Data de Abertura	Hora de abertura
1	Paulo da Gama	-	-	-	-	-
2	Paulo da Gama	-	-	-	-	-
3	Gaspar Correia	100	20-02	11:10	20-02	19:55
4	João Baptista Lavanha	400	-	-	-	-
5	João Baptista Lavanha	-	-	-	-	-
6	Gaspar Correia	-	-	-	-	-
7	Paulo da Gama	-	-	-	-	-
8	Paulo da Gama	500	06-06	23:30	07-06	04:00
9	Paulo da Gama	-	-	-	-	-
10	João Baptista Lavanha	-	-	-	-	-
11	Gaspar Correia	-	-	-	-	-

Quadro 55 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 em 2009  
(continuação)

Registado em 2009						
	Rua	Nº de Pessoas	Data de Fecho	Hora de Fecho	Data de Abertura	Hora de abertura
12	Gaspar Correia	100	07-09	09:20	07-09	12:30
13	Gaspar Correia	-	-	-	-	-
14	Paulo da Gama	1500	28-10	09:30	-	-
15	Gaspar Correia	200	19-11	12:15	19-11	14:00
16	Pedro Escobar	-	-	-	-	-
17	Paulo da Gama	200	09-12	15:55	-	-
18	Paulo da Gama	-	-	-	-	-

Quadro 56 – Dados registados pela Águas do Porto, EEM necessários para o cálculo do QS13 resumo de 2007, 2008 e 2009

Resumo da quantidade de dados recolhidos nos três anos	Nº de Pessoas (%)	39.13
	Data de Fecho (%)	43.48
	Hora de Fecho (%)	43.48
	Data de Abertura (%)	36.96
	Hora de abertura (%)	36.96

Tal como referido no subcapítulo 5.1, uma das soluções a implementar é uma nova recolha de dados sobre as válvulas fechadas que permitiria, com o tratamento adequado, determinar o número de clientes afectados com exactidão. Esta é uma solução transitória e sem eficácia a longo prazo, uma vez que os dados estão a ser recolhidos em papel, tornando-os de tratamento informático complexo (devido à morosidade do carregamento dos dados). Outro aspecto importante que se nota pelos Quadros 53, 54 e 55 é a falta de precisão no número de polícia registado associado à reclamação. Este é importante para a realização de estudos, nomeadamente localizar o local aproximado de cada avaria. No entanto, está a ser complementado pelo campo do *Multi* chamado de Georef (geroferenciação), havendo uma boa quantidade de informação desde o início de 2010 para cada reclamação, estando praticamente assegurada a exactidão desta.

No total, nos anos de 2007, 2008 e 2009, foram recolhidos em média 40% dos dados. No ano corrente, 2010, começou-se uma supervisão sobre a Sala de Comando, conseguindo-se que a data/hora de fecho/abertura passasse a ser de preenchimento obrigatório, tal como o número de pessoas (clientes). Isto não resolverá a curto prazo o problema da recolha de dados, uma vez que se nota que não há uma sensibilização interna para a importância e significado da data/hora de fecho/abertura, para além de que o plano metodológico para o registo dos clientes afectados ainda se encontra em fase de implementação.

Quadro 57 – Comparação entre o número de clientes afectados registado e o espectável

	Nº de clientes espectável (se as Secções fossem isoladas correctamente) (a)	Nº de clientes registado (b)	Diferença [(a) – (b)]	Secção (c)	Tempo de intervenção registado na Nota de serviço [min] (d)	Tempo de intervenção registado no <i>Multi</i> [min] (e)	Diferença [(d)- (e)]
Ano 2007							
1	1	-	-	-	70	-	-
2	573	5	-568	S (5)	89	97	-8
3	79	100	21	S (7)	145	140	5
4	79	0	-79	S (7)	30	-	-
5	1	-	-	-	100	85	15
6	32	300	268	S (18)	119	115	4
Ano 2008							
1	351	500	149	S (6)	252	245	7
2	126	250	124	S (12)	167	75	92
3	58	-	-	S (3)	166	-	-
4	573	100	-473	S (5)	152	-	-
5	63	200	137	S (10)	256	-	-
6	18	100	82	S (19)	145	135	10
7	79	-	-	S (7)	224	-	-
8	573	0	-573	S (5)	111	-	-
9	573	300	-273	S (5)	138	275	-137
10	573	300	-273	S (5)	219	245	-26
11	1	0	-1	-	120	140	-20
12	573	50	-523	S (5)	103	120	-17
13	12	-	-	-	35	-	-
Ano 2009							
1	573	-	-	S (5)	115	-	-
2	0	-	-	S (20)	85	-	-
3	18	100	82	S (19)	136	525	-389
4	79	400	321	S (7)	114	-	-
5	12	-	-	-	90	-	-

Quadro 57 – Comparação entre o número de clientes afectados registado e espectável (continuação)

	Nº de clientes espectável (se as Secções fossem isoladas correctamente) (a)	Nº de clientes registado (b)	Diferença [(a) – (b)]	Secção (c)	Tempo de intervenção registado na Nota de serviço [min] (d)	Tempo de intervenção registado no <i>Multi</i> [min] (e)	Diferença [(d)- (e)]
Ano 2009							
6	1	-	-	-	80	-	-
7	573	-	-	S (5)	452	-	-
8	573	500	-73	S (5)	225	270	-45
9	573	-	-	S (5)	262	-	-
10	22	-	-	S (8)	220	-	-
11	18	-	-	S (19)	270	-	-
12	18	100	82	S (19)	162	190	-28
13	18	-	-	S (19)	52	-	-
14	573	1500	927	S (5)	218	-	-
15	18	200	182	S (19)	136	105	31
16	1	-	-	-	60	-	-
17	573	200	-373	S (5)	281	-	-
18	66	-	-	-	115	-	-
Total registado 2007	763	405	-358		453	437	16
Total registado 2008	3424	1800	-1624		1144	1235	-91
Total registado 2009	1852	3000	1148		659	1090	-431

No Quadro 57, observa-se a falta de exactidão do número de clientes afectados registado, mas também algumas incongruências no tempo de intervenção. Como exposto anteriormente, numa avaria, o número de clientes afectados real será geralmente superior ao da Secção (decorrente da lacuna operacional da falta do cadastro no terreno aumentando a probabilidade de não serem fechadas as válvulas correctas) e o tempo de corte de água inferior ao tempo total de intervenção.

Em relação ao número de clientes afectados, apesar de na maior parte dos casos o valor ter sido registado por excesso, este não obedece a nenhum critério. Por exemplo, S (18) e S (7) só necessitam

do fecho de uma válvula cada (Fig.B.3) e estas encontram-se no cruzamento das faixas de rodagem. É muito provável que tenham sido fechadas correctamente. No entanto, foi registado um valor sempre muito diferente ao da Secção. Duas interpretações são possíveis: (1) a válvula não estaria funcional, informação que deverá ser registada posteriormente; (2) simplesmente erro das ER, uma vez que, como se disse anteriormente, a tarefa de contarem os clientes afectados é inexequível de ser cumprida pelas ER sem o uso de qualquer suporte informático. Para além disto nota-se uma tendência de registo de números redondos, o que mostra a falta de sensibilização interna para o rigor do registo desta variável. Conclui-se que:

- No acumular dos anos foi recolhida uma quantidade escassa de dados referentes às reclamações;
- O número clientes afectados recolhido é sempre erróneo, uma vez que se baseia na perícia das ER e não em nenhum método exacto.

O registo horário do corte de água é dependente da metodologia usada na reparação sendo que esta, por exemplo, poderá ser:

- 1) Avaria facilmente detectável;
- 2) A água é cortada com recurso às válvulas de seccionamento;
- 3) Escavação e reparação;
- 4) Abertura da água;
- 5) Aterro e reposição de pavimento provisório.

Verificou-se, ao longo do tratamento dos dados, que o registo da hora de abertura era nuns casos efectuado depois da hora do fim da reparação e noutros antes da hora do fim da reparação. No entanto, a Nota de Serviço é preenchida para todas as reparações efectuadas pela equipa de reparação no final do horário laboral, o que poderá provocar erros de registo. Por exemplo, poderá ter ocorrido este tipo de lacuna onde no Quadro 57 a hora de fecho e hora de abertura perfazem um intervalo de tempo superior ao da intervenção registado na Nota de Serviço. Conflui-se que:

- A data/hora de fecho/abertura contém incongruências. Em certos casos não se encaixam na hora registada na Nota de Serviço e noutros apenas é registada uma delas.

Apesar da informação requerida ser aparentemente trivial, o que dificulta a recolha de todos os dados metodologicamente é o atrito da coordenação entre o pessoal que faz o registo. Este é o grande desafio para a EG: garantir a coordenação para a recolha da data/hora de fecho/abertura e implementar uma metodologia para determinação dos clientes afectados.

#### 6.4.5 ISOLAMENTO DAS SECÇÕES NA RUA PAULO DA GAMA E SUA ENVOLVENTE

Na Rua Paulo da Gama e sua envolvente foram identificadas no subcapítulo 6.2.1 algumas Secções críticas: S (1), S (3), S (5), S (6), S (12) e S (13), entre as quais se destacam S (5), S (6) e S (1).

Na Fig.38 apresenta-se o número de vezes que as Secções tiveram de ser isoladas entre o ano 2007 e 2009. Observa-se que S (5) foi a mais afectada ao fim dos três anos. Esta é uma Secção com problemas notórios de fiabilidade. Teve porventura a necessidade de demasiadas interrupções de abastecimento. No ano de 2008, outra Secção crítica, S (6), teve de ser isolada, embora os problemas se tenham cingido a esse ano. A Secção S (5) é a que mais preocupa, uma vez que, para além de provocar um isolamento de elevada proporção, tem tido muitas roturas. Esta foi a que mais contribuiu para o elevado peso dos clientes afectados no cálculo do QS13 nos três anos. As restantes roturas



corroboram a necessidade de uma remodelação da RAA. No entanto, as Secções que não constam na Fig.38 não tiveram problemas.

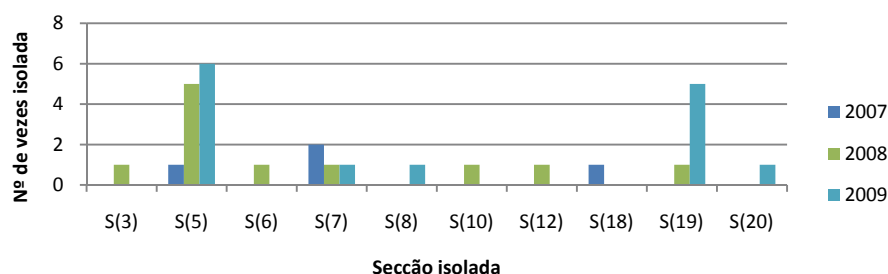


Fig.38 – Secções isoladas na Rua Paulo da Gama e sua envolvente nos anos 2007, 2008 e 2009

#### 6.4.6 CONCLUSÕES

Conclui-se deste subcapítulo:

- A zona da Rua Paulo da Gama e sua envolvente têm vindo a sofrer uma deterioração iminente ao longo dos anos, traduzindo-se numa quebra de fiabilidade;
- A Secção crítica S (5) tem sido severamente afectada por avarias;
- Os dados na empresa Águas do Porto, EEM têm sido recolhidos de forma muito incoerente. Metodologicamente é irresolúvel a curto prazo, a não ser que sejam efectuadas várias implementações, tendo presente que algumas requerem investimentos avultados.

A zona estudada abastece cerca de 0.55% dos clientes totais da Águas do Porto, EEM. Notaram-se vários problemas tanto a nível de fiabilidade como estruturais. Haverá na rede de distribuição Águas do Porto, EEM inúmeras zonas com problemas semelhantes a esta, decorrentes da RAA devoluta herdada. No entanto, cabe à EG efectuar a melhor gestão possível de activos.

### 6.5. ANÁLISE ECONÓMICA DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA VERSUS VÁLVULAS

A seguir será analisada a fiabilidade em termos de custos em duas vertentes: (1) será elaborado um plano hipotético de manutenção de válvulas, estimando o custo para a EG manter as suas válvulas num nível de fiabilidade próximo dos 95%; (2) será feita uma comparação dos custos, entre a RAA instalada na zona da Rua Paulo da Gama e sua envolvente e da RAA projectada, em termos de válvulas e implantação.

#### 6.5.1 CUSTO PARA MANUTENÇÃO DA FIABILIDADE DAS VÁLVULAS

Wilson (2004) elaborou um estudo em nove empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água dos Estados Unidos da América, com o fim de elaborar um plano que possa ser implementado para aumentar a fiabilidade das válvulas. Este plano divide-se em quatro fases:

- 1) A equipa destacada deverá localizar as válvulas a serem testadas e verificar a sua operacionalidade sem efectuar qualquer reparação prévia;
- 2) Se não se conseguir accionar sem reparação, dever-se-á fazer ajustes para torná-la funcional: remover a sujidade do tecto móvel, remover pavimentos que as estejam a cobrir, substituir a porca e reparar as fugas;

- 3) Escavar, se necessário para encontrar válvulas perdidas;
- 4) Válvulas avariadas são substituídas.

Deb *et al* (2006) afirmam que o custo de substituir válvulas avariadas é significativamente mais elevado do que a implantação em novas construções. A razão para tal é o custo de substituição incluir o custo de pessoal, remoção de pavimento, escavação, desvio de trânsito, terrenos de aterro e reposição do pavimento. O custo de instalação de válvulas em redes de abastecimento de água novas envolve apenas o custo da válvula, os acessórios e a fixação já que os restantes custos estão incluídos no custo global da obra.

As análises de custo são muito variáveis de EG para EG. Isto deve-se ao facto de cada uma ter o seu plano de manutenção e substituição de válvulas. Em Portugal, há uma fraca implementação deste tipo de planos nas empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água. O cumprimento do ano horizonte do projecto fixado para as válvulas depende da manutenção efectuada ao longo do tempo. Válvulas sujeitas a testes periódicos poderão durar de setenta a cem anos, enquanto válvulas que não são vistoriadas poderão durar menos de vinte ou trinta anos (Wilson 2004).

Como referido no subcapítulo 2.2.2, a Águas do Porto, EEM possui na sua RAA aproximadamente oito mil válvulas de seccionamento. Se for destacada uma equipa de duas pessoas para vistoriar vinte e cinco válvulas por dia, será necessário cerca de um ano para verificar todas as válvulas. A seguir, apresentar-se-á um plano hipotético de substituição de válvulas, com o propósito de aumentar a sua fiabilidade.

Quadro 58 – Dados base para a estimativa dos custos de um plano de manutenção de válvulas hipotético

Ano	Nº de válvulas existentes na RAA	Salário anual da equipa	Preço anual da substituição de válvulas
		€/ano	€/válvula
0	8000	28000	750
1	8120	28560	761
2	8242	29274	773
3	8365	30006	784
4	8491	30756	796
5	8618	31525	808

Considerar-se-á a inflação de variáveis tais como o crescimento dos salários, aumento do número de válvulas na RAA e aumento do preço de substituição das válvulas (Quadro 59).

Quadro 59 – Inflação das variáveis intervenientes no plano de manutenção de válvulas hipotético

Aumento dos salários do ano 0 para o ano 1	2.00%
Aumento dos salários a partir do ano 1	2.50%
Aumento do número de válvulas na RAA por ano	1.50%
Aumento do preço da substituição de válvulas por ano	1.50%

Quadro 60 – Quantidade de válvulas a substituir para atingir a fiabilidade desejada

Ano	Fiabilidade das válvulas	Nº de válvulas a substituir
0	75%	2000
1	85%	1218
2	95%	412
3	95%	418
4	95%	425
5	Inspecção	0

Simulou-se que no início do plano de aumento de fiabilidade, 25% das válvulas não funcionavam ou por condicionalismos externos teriam de ser intervencionadas (por exemplo, por fugas, danos nos acessórios, pavimentação sobre o tecto móvel, etc). O objectivo é proceder à substituição/reparação das válvulas aumentando gradualmente a fiabilidade anualmente, sendo que a meta é atingir os 95%.

Quadro 61 – Custo total anual do plano de manutenção de válvulas hipotético

Ano	Fiabilidade das válvulas	Custo total da manutenção da fiabilidade das válvulas (€)
0	75%	1528000
1	85%	955762.5
2	95%	347683
3	95%	358039
4	95%	368704
5	Inspecção	31525

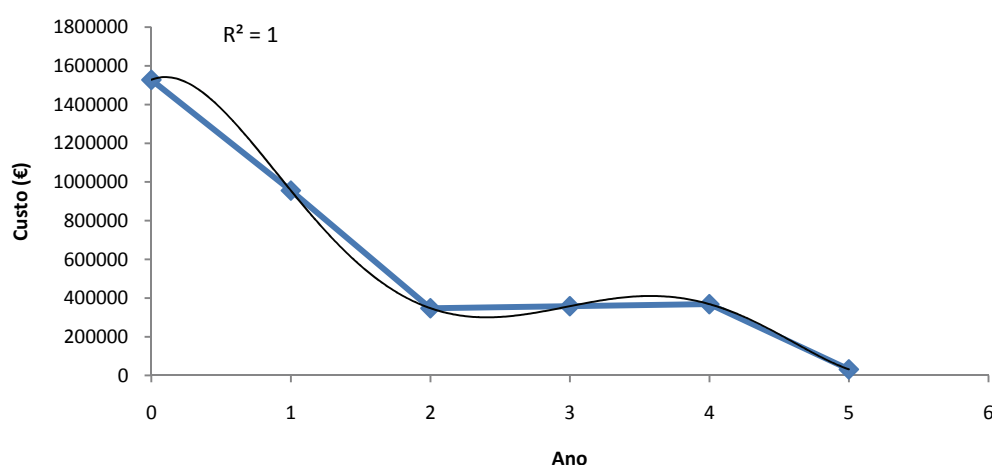


Fig.39 – Evolução do custo total anual do plano de manutenção de válvulas hipotético

Com a análise anterior pretende-se perceber a evolução anual do custo de um plano de manutenção de válvulas e a sua ordem de grandeza. Observando a Fig.39 e o Quadro 61, o custo tende a diminuir com o aumento da fiabilidade. No entanto, quando se atinge os 95% e a equipa continua as intervenções para manter a fiabilidade no mesmo nível, o custo inverte a tendência. A manutenção da fiabilidade em 95% torna-se mais cara devido ao aumento do número de válvulas na RAA que acaba por superar a percentagem de substituição, provocando um aumento gradual anual do número de válvulas a substituir. Para além disto, o aumento do preço de substituição e os salários dos operários também contribuíram para a inversão. Com a fiabilidade em 95%, a EG poderá optar no ano seguinte por fazer apenas inspecção e não efectuar qualquer substituição durante os anos seguintes. Assim, o custo tenderá a baixar, passando a ser apenas o custo com pessoal. Ocorrerá a retoma das substituições quando se declararem novos sinais de deterioração. Contudo, a inspecção contínua e o registo das manutenções efectuadas serão uma boa prática para a durabilidade das válvulas.

#### 6.5.2 CUSTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INSTALADA E DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA A INSTALAR

As válvulas dispostas na RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente e as que serão instaladas com a remodelação obedecem à configuração da Fig.40. Cada uma é composta por uma válvula de cunha, o dado, a noz, um conjunto de manobra e um kit de estanqueidade para as flanges. Proceder-se-á neste subcapítulo à avaliação do peso do custo das válvulas instaladas (na RAA instalada) e das que serão instaladas (na nova RAA), no valor global dos trabalhos envolvidos na concepção da RAA (Anexo I). Com isto, pretende-se perceber o acréscimo de custo do aumento da fiabilidade.

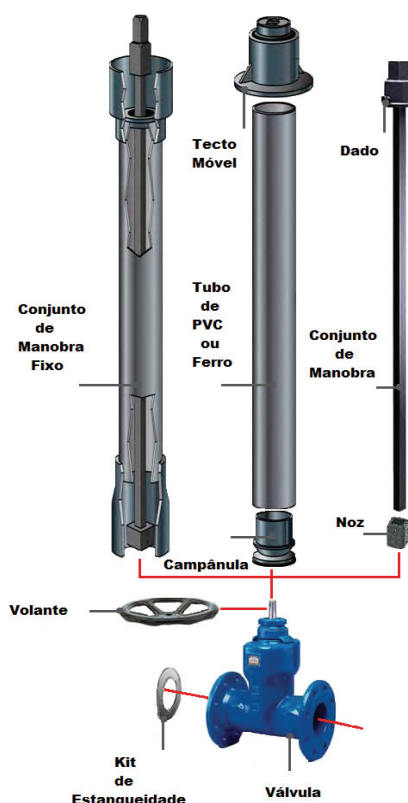


Fig.40 – Configuração típica de uma válvula (Saint-Gobain 2009)

Quadro 62 – Válvulas instaladas na Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Válvulas	Válvula Euro 20 tipo 21 (€)	Dado (€)	Noz (€)	Conjunto de Manobra (€)	Kit de estanqueidade (€)	Tecto móvel (€)	Total (€)
6 DN40	135	3	9.68	28.89	15.45	20	1272.12
1 DN60	181.78	3.16	10.3	34.96	17.57	20	267.77
11 DN80	187.6	3.16	10.3	34.96	19.10	20	3026.32
1 DN100	241.98	3.45	11.11	34.96	20.00	20	331.5
4 DN150	402.82	3.45	11.11	35.66	29.14	20	2008.72
1 DN200	778.58	12.09	14.98	41.87	38.45	20	905.97
24							7812

As válvulas serão em FFD e usar-se-á como preço de referência a produtora Saint-Gobain, devido à liderança de mercado.

A instalação de uma RAA de distribuição envolve os trabalhos de movimento de terras, pavimentação e colocação de tubagens e acessórios. O preço por metro linear dos trabalhos anteriores é em média duzentos euros (com sistema de condutas em plásticos ou cimentos, profundidades de implantação menor que três metros e pavimento em paralelo ou betuminoso). Nesta análise não se considerará o preço dos ramais domiciliários de abastecimento nem dos hidrantes. Isto porque, o custo destes no valor global da empreitada depende do número de elementos a instalar, O número é definido pelo projectista, obedecendo aos condicionalismos sociais e legais.

A RAA instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente tem uma extensão total de três mil quinhentos e cinquenta e sete metros. No entanto, apenas será removida uma parcela correspondente a dois mil oitocentos e quarenta e um metros [não serão removidas nem a conduta adutora T7 (Fig.B.1 e Fig.C.1), nem a conduta de distribuição T1 (Fig.B.1 e Fig.C.1)], contendo vinte e duas das vinte e quatro válvulas capazes de isolar Secções. O valor do custo das válvulas e o seu peso no valor global dos trabalhos é apresentado no Quadro 63.

Quadro 63 – Parte da RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente que será substituída

Comprimento da RAA (m)	Movimentação de terras, pavimentação e condutas (€)	Preço das válvulas (€)	Preço Global (€)	Peso das válvulas no preço global (%)
2841	568200	6808	575008	1.18

Na RAA projectada, o número de válvulas aumentará consideravelmente, mas, para além disto, está previsto que dos três mil setecentos e sessenta e seis metros de condutas a instalar esta tenha mil quinhentos e vinte e um metros em FFD. Portanto, o preço médio dos trabalhos rondará os trezentos e cinquenta euros por metro linear, pois este material é substancialmente mais oneroso que os plásticos e os cimentos.

Quadro 64 – Válvulas a instalar na Rua Paulo da Gama e sua envolvente

Válvulas	Válvula Euro 20 tipo 21 (€)	Dado (€)	Noz (€)	Conjunto de Manobra (€)	Kit de estanqueidade (€)	Tecto móvel (€)	Total (€)
89 DN100	241.98	3.45	11.11	34.96	20.00	20	29503.5
25 DN200	778.58	12.09	14.98	41.87	38.45	20	22649.25
114							52153

Quadro 65 – Parte da RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente que será instalada

Comprimento da RAA (m)	Movimentação de terras, pavimentação e condutas (€)	Preço das válvulas (€)	Preço Global (€)	Peso das válvulas no preço global (%)
3766.7	1318345	52153	1370498	3.81

Comparando o Quadro 63 com o Quadro 65, observa-se um aumento tanto do preço global dos trabalhos como do peso do preço das válvulas neste. O aumento do preço dos trabalhos deve-se à adição de novecentos e vinte e cinco metros de conduta e, do total substituído, ser 40.4% em FFD (o que faz aumentar substancialmente o preço por metro linear). Contudo, o maior acréscimo verificado é no custo das válvulas. Apesar do agravamento de duas vezes do preço global dos trabalhos o custo das válvulas incrementou o seu peso em cerca de quatro vezes. Portanto, se o preço dos trabalhos se tivesse mantido constante (nos duzentos euros por metro linear), o peso do preço das válvulas neste teria aumentado cerca de seis vezes. Deste modo, verifica-se a compensação do valor das válvulas nos trabalhos de concepção de novas redes de abastecimento de água, corroborando o ressarcimento da instalação de válvulas na fase de execução e a necessidade em evitar a sua substituição.

As válvulas passaram a ter um peso muito significativo no valor da obra, logo a EG deverá avaliar se o custo/benefício é ressarcido, designadamente se a satisfação e o consumo dos clientes abastecidos pela zona em questão amortizam o investimento.

Com isto, nota-se a diferença de ordem de grandeza do custo de uma RAA com válvulas aplicadas segundo o método N e uma RAA com escassez de válvulas. Este método de colocação reflecte-se num custo de investimento comprovadamente elevado.



## 7

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 7.1. CONCLUSÕES

O sistema público de abastecimento de água assume um papel de elevada relevância a nível económico e social. A componente humana associada ao consumo de água lança às empresas gestoras novos desafios para alcançar a qualidade, tanto da água como do serviço prestado. No estrangeiro, nomeadamente Estados Unidos da América, Inglaterra e França, as empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água têm uma experiência vasta, devido à idade das suas redes e do número elevado de clientes nas grandes metrópoles, tendo com isto adquirido um nível de desenvolvimento ainda inexistente nas empresas portuguesas. O sucesso destas empresas passa pelos planos de gestão de activos, como a manutenção pró-activa de válvulas, a reabilitação e a limpeza de condutas sem abertura de vala e a substituição selectiva de condutas e componentes segundo determinados critérios dependentes do número de avarias. Todas as medidas anteriores de gestão de activos são boas práticas de gestão que rentabilizam os investimentos, estando em Portugal fracamente desenvolvidas, algumas pelo mercado de reduzida dimensão (por exemplo, reabilitação de condutas sem abertura de vala e limpeza) e outras por falta de ambição corporativa. Para além de rentabilizarem os investimentos, promovem a qualidade de serviço prestado, tanto ao nível da qualidade da água como da qualidade de abastecimento em termos de pressão e quantidade.

Em Portugal, a maior parte das empresas gestoras que contactam directamente com o cliente gere sistemas municipais. Destes decorrem inúmeros problemas resultantes da gestão municipal. Por exemplo, o tarifário praticado não está sob a alçada da ERSAR, provocando políticas de desinvestimento, prejuízos financeiros e sociais. O aumento da participação dos privados e a maior pressão da ERSAR tem impulsionado as empresas a estabelecerem novas metas, nomeadamente no campo da qualidade de serviço. Uma das medidas tomadas pela ERSAR é a avaliação de qualidade de serviço prestado e a adopção do sistema de indicadores de desempenho proposto pela IWA, permitindo criar uma espécie de concorrência dentro da actividade que é um monopólio natural (atendendo que é impossível duas empresas gestoras explorarem as mesmas infra-estruturas em simultâneo). São vários os indicadores propostos, abrangendo um vasto conjunto de domínios da actividade de gestão de sistemas de abastecimento de água. Nem todos são de cálculo fácil, não pela complexidade matemática, mas pela dificuldade em agilizar internamente a empresa na recolha dos dados, sobretudo quando a empresa se encontra em fase de transição, como é o caso da Águas do Porto, EEM. Como se constata, a preocupação com a qualidade de serviço prestado ao cliente tem vindo a ocupar espaço na agenda das empresas gestoras portuguesas. A qualidade de serviço, apesar das exigências mais ou menos bem definidas, é extremamente difícil de quantificar. Esta está contemplada num vasto conjunto de indicadores, sendo que três pretendem determinar a fiabilidade do SAA, nomeadamente o QS13, QS14 e QS15. O mais representativo e que devolve um resultado que define perfeitamente a fiabilidade é o QS13. No entanto, constatou-se que a parcela da variável D35



que corresponde ao número de clientes afectados por uma interrupção de abastecimento é de determinação extremamente complexa. Para determiná-los com exactidão, é necessário registar as válvulas que foram fechadas para a execução de cada reparação. Este registo não era efectuado na Águas do Porto, EEM. No entanto, tentou-se implementar uma solução que visa o transporte do cadastro, em formato papel, para o terreno, acompanhado de uma ficha de recolha de dados. Esta é uma solução provisória, mas será útil para posterior validação do cadastro, a obtenção de informação sobre a operacionalidade das válvulas, tempo que estas tiveram fechadas e sobretudo para a localização de quais foram fechadas. Conseguindo-se deste modo determinar o indicador QS13, não para uma zona limitada, mas sim, para a cidade inteira (baseado num método e não em aproximações e suposições, como foi efectuado no capítulo 6).

Existem modelos, como o que foi usado no capítulo 6, que permitem analisar as condutas em termos de clientes. O modelo aplicado é de grande utilidade pois, adequado a uma empresa, poderá ter várias aplicações como a divisão de toda a sua RAA nas suas Secções isoláveis, podendo depois a informação ser armazenada em base de dados. Esta, posteriormente, poderá servir como suporte de consulta. Deste modo, consultando na base anterior conseguir-se-ia informaticamente determinar os clientes afectados pela interrupção de cada conduta da RAA. Este desenvolvimento tecnológico depende da empresa e a implementação é complicada ao nível da organização informática. Outros meios informáticos podem ser usados para determinar a variável D35, como por exemplo, o uso por parte das ER de um equipamento portátil munido de SIG ou a instalação de contadores com telemetria possuindo medição de pressão. Ambas as soluções são o futuro, tanto para eficiência das ER, como para o controlo de perdas de água e reclamações. No entanto, todos os avanços tecnológicos são de implementação delicada: ou se obtém proveito 100% da tecnologia ou o investimento é desperdiçado.

Outro ponto muito importante é que as empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água portuguesas devem começar a consciencializar-se da necessidade de um programa de manutenção de válvulas. A fiabilidade do SAA e a satisfação dos clientes são directamente proporcionais à operacionalidade das válvulas. Os benefícios em ter válvulas com uma boa manutenção são elevados, tanto ao nível das reclamações, como nas perdas de água e poupança no preço da substituição. A maior fiabilidade é conferida por uma colocação de válvulas segundo o método N, pese embora este provoca um custo de investimento deveras elevado na empreitada. Deverá ser ponderado o retorno desse investimento.

A Rua Paulo da Gama e sua envolvente inserem-se num dos muitos projectos de remodelação, promovidos pela Águas do Porto, EEM, que irão decorrer dentro dos próximos anos. A RAA instalada possui problemas notórios de fiabilidade. O projecto que foi elaborado para a remodelação incrementará a fiabilidade para níveis perto do ideal. No entanto, é uma solução comprovadamente onerosa. Constatou-se a aleatoriedade e a complexidade da introdução de análises de fiabilidade na fase de projecto de redes de abastecimento água.

Portanto, a recolha de dados é um acto importante para uma EG avaliar se a sua exploração cumpre os objectivos traçados pela estrutura accionista. Apesar das lacunas, a empresa Águas do Porto, EEM tem tudo para evoluir para a excelência, não só pela solidez financeira como também pelos meios humanos e tecnológicos que possui.

## **7.2. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS**

Sugerem-se de seguida algumas recomendações para eventuais desenvolvimentos futuros no domínio em que se enquadra o presente trabalho:

- Implementação nas empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água em baixa de equipamentos portáteis munidos com SIG para as ER e sistemas de telemetria; quantificação dos seus benefícios económicos e sociais;
- Implementação nas empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água em baixa de modelos como o SVMM, para procederem a reformulações activas da RAA e avaliarem as suas condutas críticas em termos de clientes;
- Implementação nas empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água em baixa de um plano de gestão de activos e manutenção de válvulas; avaliação dos seus benefícios económicos e sociais;
- Na Águas do Porto, EEM análise das fichas de recolha de dados implementadas.



## BIBLIOGRAFIA

### A

Águas do Porto, EEM *Relatório & Contas 2009*. Águas do Porto, EEM, Porto, 2010

Alegre, H. Performance indicators for management support. In *Urban Water Supply Handbook*, pp. 9.3 a 9.74, McGraw-Hill, New York, 2002.

Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., Parena, R., *Série GUIAS TÉCNICOS 1 – Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2004.

Alegre, H. e tal. *Série GUIAS TÉCNICOS 12 - Sistemas de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores – 1ª Geração do sistema de indicadores de qualidade de serviço*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Lisboa, 2009.

Alves, J. F. *Águas do Douro e Paiva*, Águas do Douro e Paiva, S.A, Porto, 2005.

Arcgis® Mobile Manual, <http://www.esri.com/arcgismobile> e <http://www.esriportugal.pt/> 20/05/2010.

Asian Development Bank *Handbook for the Economic Analysis of Water Supply Projects*, Asian Development Bank, 1996.

American Water Works Association Research Foundation (AWWARF) e KIWA, *Key Criteria for Valve Operation and Maintenance*, AWWARF e KIWA, 2001.

### B

Baptista, J. M et al *Relatório anual do sector de águas e resíduos em Portugal Vol. 3 Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*, ERSAR, Lisboa, 2008.

Bouchart, F, Goulter, I. C. *Reliability improvements in design of water distribution networks recognizing valve location*, Water Resources Research Vol. 27 N° 12, 27 de Fevereiro de 1991, pp. 3029 a 3040, American Geophysical Union, Washington, DC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/91WR00590>

### C

Coate, J. *Water Main Shutdown Prevents Costly Mistakes*. The ArcUser – The Magazine for the ESRI Software Users, 2003. Disponível em: <http://www.esri.com/news/arcuser/0103/mainbreak1of2.html>

Cullinane, M. J. Reliability evaluation of water distribution system components. In *Hydraulics and hydrology in the small computer age vol 1*, pp. 353 a 358, American Society of Civil Engineers, New York, 1985

Cunha, R. *Projecto Hidráulica – Porto Gravítico*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

### D

Daca, N. G. *Sistemas urbanos de água*. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1975.

Data Sheet Electronic Water Meter AquaMaster™ ABB, <http://www.abb.pt/ProductGuide/> 18/05/2010.

Deb, A. K., Hasit, Y. J., Grablutz, F. M. *Distribution System Performance Evaluation*, AWWA Research Foundation and American Water Works Association, Portland, 1995.

Deb, A. K. *et al Criteria for Valve Location and System Reliability*. AWWA Research Foundation, Denver, 2006.

Duckstein, L., Plate, E. J. *Engineering reliability and risk in water resources*, Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht, 1987.

## F

Faria, A. L. *et al Avaliação dos níveis de serviço das entidades gestoras de sistemas de águas de abastecimento e de águas residuais*, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa, 2000.

Fujiwara, O., Tung, H. D. *Reliability Improvement for Water Distribution Networks Through Increasing Pipe Size*, Water Resources Research Vol. 27 N° 7, pp. 1395 a 1402, 30 de Janeiro de 1991, American Geophysical Union, Washington, DC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/91WR00882>

## G

Goulter, I., Coals, A. *Quantitative Approaches to reliability assessment in pipe networks*. Journal of Transportation Engineering Vol. 112 N° 3, Maio de 1986, pp. 287 a 301, American Society of Civil Engineers, New York. Disponível em: <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?48571>

Goulter, I. C., Bouchart, F. *Joint consideration of pipe breakage and pipe flow probabilities*. American Society of Civil Engineers, New York, 1987.

Goulter, I. C. Current and future use of systems in water distribution network design. In *Civil Engineering and Environmental Systems Vol. 4*, pp. 175 a 184, 4 de Dezembro, 1987. Disponível em: <http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a782252782>

Goulter, I. C. *Systems analysis in water distribution network design: from theory to practice*, American Society of Civil Engineers, New York, 1992.

## H

Hentley, E. J., Kunamoto, H. *Probabilistic risk assessment: reliability engineering, design and analysis*, Institute of Electrical & Electronics Engineer Press, New York, 1992.

Hoff, J.W. *Maintenance requirements of valves in distribution systems*. Annual conference proceedings AWWA, 23 e 27 de Junho de 1996, Toronto, Ontario.

<http://www.addp.pt/intro.htm> 8/04/2010.

<http://www.aguasdoporto.pt/> 20/03/2010.

<http://www.aguasdosado.pt/> 17/06/2010

<http://www.ersar.pt/website/> 25/02/2010.

## I

Ingram, P. Rosas, M., Chan, C. chapter 4 – water supply reliability. In *Urban Water Management Plan*, pp. 4.1 a 4.7, City of Redwood City, California, 2005, [http://www.ci.redwood-city.ca.us/publicworks/water/urban\\_water\\_management\\_plan.htm](http://www.ci.redwood-city.ca.us/publicworks/water/urban_water_management_plan.htm).

## J

Jacobs, P., Goulter, I. C. *Estimation of maximum cut-set size for water network failure*, American Society of Civil Engineers, New York, 1991.

Jun, W. *Strategic valve locations in a water distribution system*. Dissertação de Doutoramento, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, 2005.

L

Lacerda, F., Rocha, H. *Telemetria – Instalação e Gestão de equipamentos*, Águas do Porto, EM, 2010.

Lansey, K., Mays, L. W., Tung, Y. K. Reliability and availability analysis of water distribution systems. In *Urban Water Supply Handbook*, pp. 10.1 a 10.4, McGraw-Hill, New York, 2002.

M

Marques, J., Sousa, J. *Hidráulica Urbana Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.

Martins, J. P., Cunha, R. *Projecto Porto Gravítico: Reformulação De Um Sistema De Abastecimento De Água Centenário*, 2.<sup>as</sup> Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, 24/10/2007, FEUP.

Martins, J. P. *Gestão Da Mudança Em Empresas de Águas*, 3.<sup>as</sup> Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, 2008, FEUP.

Mays, L. W. *et al. Reliability analysis of water distribution systems*. American Society of Civil Engineers, New York, 1989.

Mays, L. W. *Water Distribution System Handbook*. McGraw-Hill, New York, 1999.

Mays, L. W. *Hydraulic Design Handbook*. McGraw-Hill, New York, 1999.

Mays, L. W. *Water Supply Systems Security*, McGraw-Hill, New York, 2004.

Monteiro, P. S. *Unidade curricular Sistemas de Drenagem Urbana - Saneamento básico em Portugal*. 2010, pp. 27 a 32, Porto.

P

Patiño, G. L., Solano, F. J. M. Geographic information systems applied to urban water supply systems In *Urban Water Supply Handbook*, pp. 11.1 a 11.25, McGraw-Hill, New York, 2002.

*Princípios relevantes para a eficiente gestão técnica de sistemas de abastecimento de água – Aula 1*. 2003. [http://slidefinder.net/A/Aula\\_201\\_20PrincipiosGerais/10568362](http://slidefinder.net/A/Aula_201_20PrincipiosGerais/10568362). 7/03/2010.

R

Rubinstein, R. Y. *Simulation and the Monte Carlo Method*. John Wiley & Sons, New York, 1981.

S

Saint-Gobain *Tubos e Acessórios em Ferro Dúctil Redes de Água Norma Europeia EN 545*. Saint-Gobain PAM, 2008.

Saint-Gobain *Válvulas Peças de Montagem e Intervenção*. Saint-Gobain PAM, 2009.

Shah, A. S. *A Report of Contingent Valuation*. Dissertação de Mestrado, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, 2003.

Shea, S. *Valve Maintenance in Boston*. Resources Engineering and Operations for the New Decades, AWWA Annual Conference Proceedings, pp. 551 a 566, 1991.

Skousen P.L. *The Valve Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1997.

Shinstine, D. *et al Reliability/Availability Analysis of Municipal Water Distribution Network: Case Studies*, Journal of Water Resources Planning and Management Vol. 128 N° 2, pp. 140 a 151, Março de 2002, American Society of Civil Engineers, Texas. Disponível em: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JWRMD5000128000002000140000001&idtype=cvips&gifs=yes&ref=no>

Spitko, J. E. Design reliability features. In *Hydraulic design handbook*, pp. 22.1 a 22.16, McGraw-Hill, Arizona, 1999.

Su, Y. C. *et al Reliability-Based Optimization Model for Water Distribution Systems*, Journal of Hydraulic Engineering Vol. 114 N° 12, Dezembro de 1987, pp. 1539 a 1556, American Society of Civil Engineers, New York. Disponível em: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JHEND8000113000012001539000001&idtype=cvips&gifs=yes&ref=no>

## W

Walski, T.M. *Practical aspects of providing reliability in water distribution systems*, Reliability Engineering and System Safety Vol. 41 Issue 1, 1993, pp. 13 a 19, Elsevier, Maryland Heights. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V4T-481DTBX-2J&\\_user=10&\\_coverDate=12%2F31%2F1993&\\_rdoc=1&\\_fmt=high&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrId=1376750177&\\_rerunOrigin=scholar.google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=73d8e9b8e91e6733e9b4805e17b514d7](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V4T-481DTBX-2J&_user=10&_coverDate=12%2F31%2F1993&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1376750177&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=73d8e9b8e91e6733e9b4805e17b514d7)

Walski, T.M. *Water distribution valve topology for reliability analysis*. Reliability Engineering and System Safety Vol. 42 Issue 1, 1993, pp. 21 a 27, Elsevier, Maryland Heights. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V4T-481DTBX-2K&\\_user=10&\\_coverDate=12%2F31%2F1993&\\_rdoc=1&\\_fmt=high&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrId=1376754104&\\_rerunOrigin=scholar.google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=8987e02b113b329a79d71dbf3155a2d6](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V4T-481DTBX-2K&_user=10&_coverDate=12%2F31%2F1993&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1376754104&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=8987e02b113b329a79d71dbf3155a2d6)

Whittaker, A.R., Arscott, A.W. *Development of an intelligent valve key to improve identification and control of distribution system valves*. Annual conference proceedings AWWA, 15 e 19 de Junho de 1997, Denver, Colorado.

Wilson, C., Garbark, M. *Manager to Manager, Message to CEOs: Focus on the Bottom Line*, Journal AWWA Vol. 94 Issue 11, Novembro de 2002, pp. 26 a 30, AWWA, Denver. Disponível em: [http://apps.awwa.org/waterlibrary/scholarabstract.aspx?an=JAW\\_0057205](http://apps.awwa.org/waterlibrary/scholarabstract.aspx?an=JAW_0057205)

Wilson, C. *Personal Communications with Wachs Utilities Services*, Chicago, 2004.

## Y

Yang, Shu-li *Optimization-based reliability analysis of large-scale water distribution system*. Dissertação de Doutoramento, University of California, 1994.

Yen, B. C. Tung, Y. K. *Reliability and uncertainty analysis in hydraulic design*. American Society of Civil Engineers, New York, 1993.

## Z

Zappe, R. W. *Valve selection handbook Fourth Edition*, Elsevier, Houston, 1999.







# ANEXOS

**ANEXO A – Inserção geográfica da Rua Paulo da Gama e sua envolvente e da sede da Águas do Porto, EEM na área metropolitana do Porto**

**ANEXO B – Conduatas, Nós, Secções, válvulas e clientes da rede de abastecimento de água instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente**

**ANEXO C – Conduatas, Nós, Secções, válvulas e clientes da rede de abastecimento de água projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente**

**ANEXO D – Mapa exemplificativo do que foi entregue às equipas de reparação**

**ANEXO E – Ficha de recolha de dados que foi entregue às equipas de reparação**

**ANEXO F – Exemplo de um contador com telemetria com medidor de pressão da empresa ABB**

**ANEXO G – Apresentação exemplificativa do *software Arcgis®* e extensão *Infrasisig Mobile***

**ANEXO H – Apresentação do modelo SVMM**

**ANEXO I – Procedimentos para a concepção de redes de abastecimento água (Águas do Sado e conteúdos da unidade curricular - Hidráulica urbana e ambiental FEUP)**





Fig.A.1 – Localização da Rua Paulo da Gama e sua envolvente e da sede da Águas do Porto, EEM



Fig.A.2 – Ruas da envolvente da Rua Paulo da Gama (Rua Paulo da Gama inclusive)





## ANEXO B – Condutas, Nós, Secções, válvulas e clientes da rede de abastecimento de água instalada na Rua Paulo da Gama e sua envolvente



Fig.B.1 – Condutas instaladas na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente



Fig.B.2 – Nós de intersecção das condutas na Rua Paulo da Gama e sua envolvente





Fig.B.3 – Secções existentes na Rua Paulo da Gama e sua envolvente

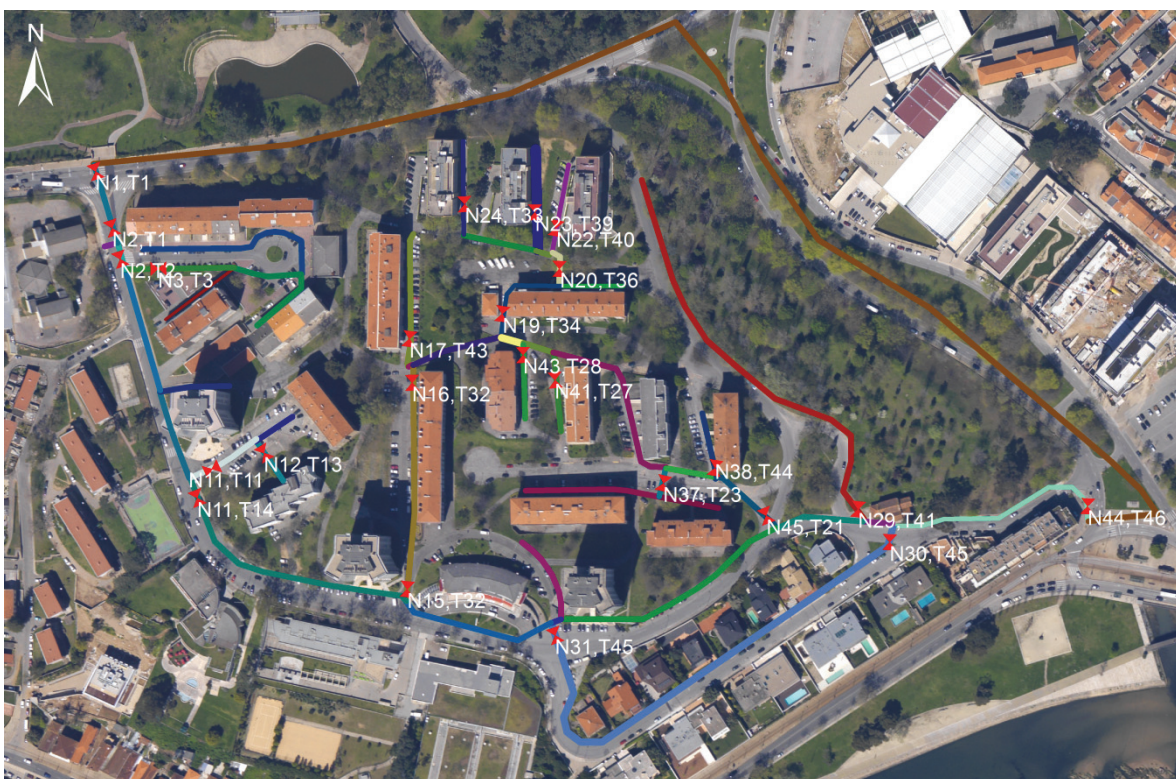


Fig.B.4 – Válvulas instaladas na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente





Fig.B.5 – Clientes servidos pela RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente





## ANEXO C – Condutas, Nós, Secções, válvulas e clientes da rede de abastecimento de água projectada para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente



Fig.C.1 – Condutas a instalar na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente



Fig.C.2 – Nós de intersecção das condutas para a Rua Paulo da Gama e sua envolvente





Fig.C.3 – Secções que existirão na Rua Paulo da Gama e sua envolvente



Fig.C.4 – Válvulas a instalar na RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente



Na Fig.C.4 não se apresenta a nomenclatura das válvulas devido à incapacidade gráfica de a apresentar com clareza, dado a elevada quantidade de informação, nomeadamente as cento e catorze válvulas. Esta será nos mesmos moldes da apresentada na Fig.B.4, mas através da associação dos Nós da Fig.C.2 e das condutas da Fig.C.1.



Fig.C.5 – Clientes que serão servidos pela nova RAA da Rua Paulo da Gama e sua envolvente



## ANEXO D – Mapa exemplificativo do que foi entregue às equipas de reparação

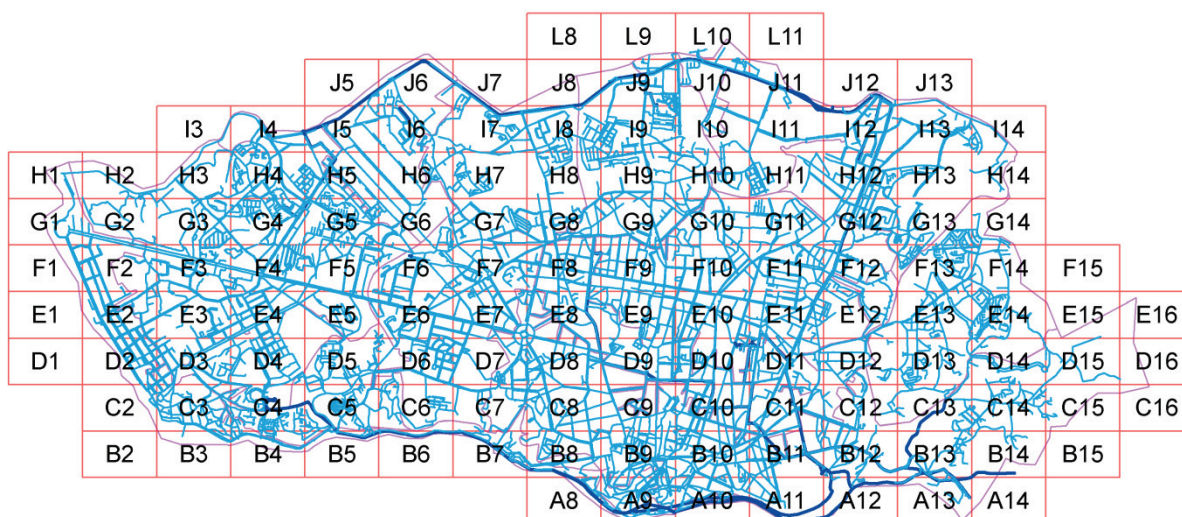


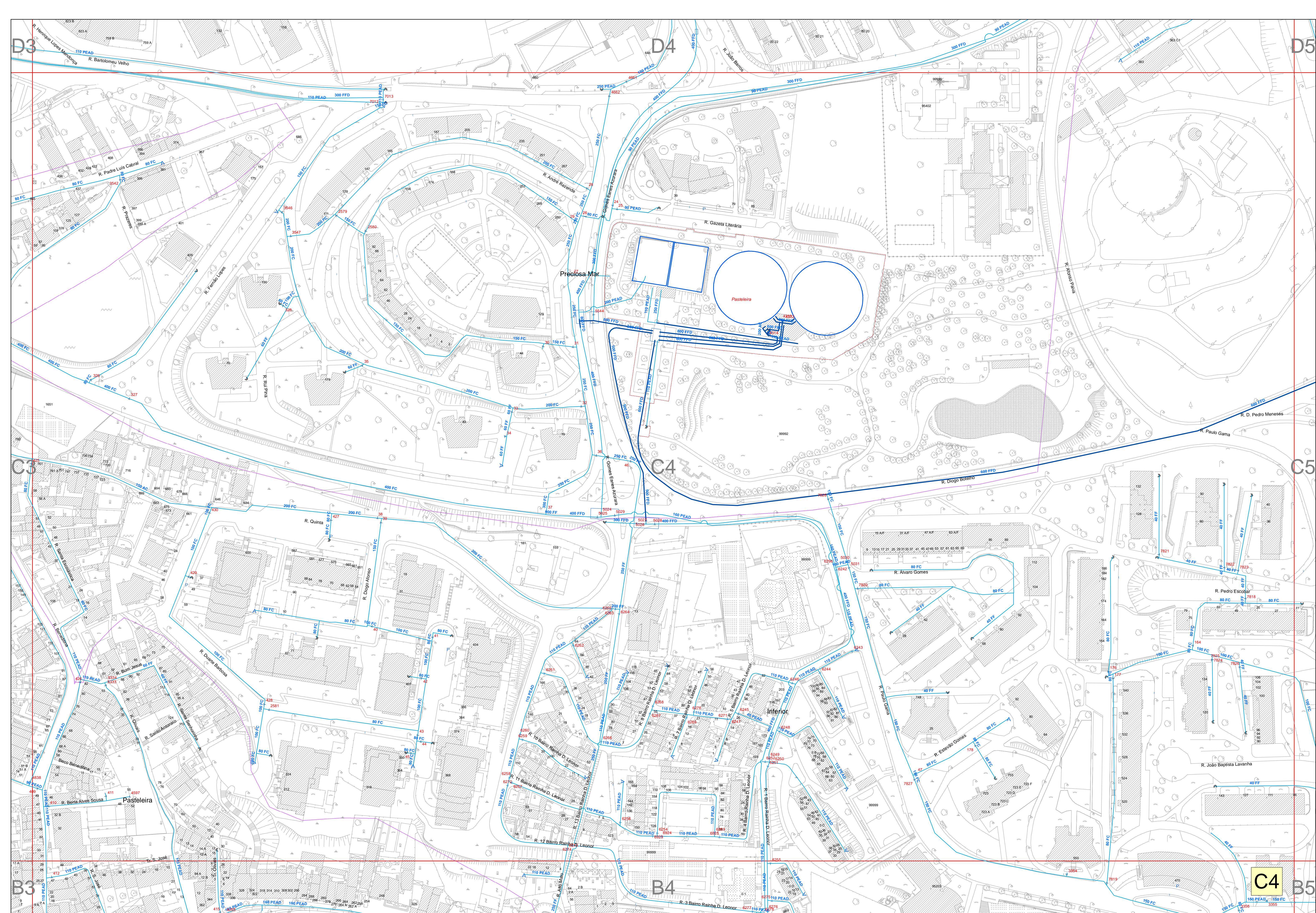
Fig.D.1 – Grelha usada para dividir a cidade do Porto para localização espacial das ER

A Fig.D.1 mostra a cidade do Porto dividida em grelha. Esta divisão é muito útil, simples de ser usada e compreendida, permitindo uma localização fácil na cidade do Porto, sobretudo tendo em conta a elevada experiência das ER. Será possível então seleccionar o mapa (apresentado a seguir à escala real), escala 1:1000, correspondente à zona em que se encontra a avaria a resolver. Cada mapa contém:

- Planimetria: desenho em planta da zona (a preto);
- Números de polícia: número da porta das habitações (pontos com numeração a preto);
- Informação cadastral dos componentes: diâmetro nominal e material das condutas (condutas de distribuição em azul claro e condutas de adução a azul escuro); numeração de cada válvula de seccionamento (a vermelho);
- Linha dos limites de zona (a roxo) (limites definidos por válvulas permanentemente fechadas para permitir a realização do plano Porto gravítico).











## **ANEXO E – Ficha de recolha de dados que foi entregue às equipas de reparação**

A seguir apresentar-se-á uma ficha de recolha de dados tipo a que foi entregue às ER. Esta é composta pelos Quadros 30, 31 e 32 que foram explicados no subcapítulo 5.1.



## Recolha de dados - Roturas

Data e Hora de chegada ao local:	Data	Hora
Data e Hora de saída do local	Data	Hora

Conduta afectada	Rua e Número de Polícia mais próximo da rotura			
	Material e Diâmetro correctos no cadastro?			
	Sim	Não	Se Não Qual?	
			Material	Diâmetro

Válvulas de seccionamento fechadas	Identificação	Hora de fecho	Hora de Abertura	Avariada	
				Sim	Não
	Válvula de ramal domiciliário fechada	Número de polícia	Hora de fecho	Hora de abertura	Avariada
				Sim	Não



## ANEXO F – Exemplo de um contador com telemetria com medidor de pressão da empresa ABB

O contador *AquaMaster* está disponível de DN 15 a DN 600, sendo uma boa solução para medição de caudais e pressões na indústria da água potável.

O *AquaMaster* foi especificamente concebido para a indústria da água em resposta às suas exigências rigorosas para a capacidade de medição avançada, permitindo exploração cada vez mais eficiente, aumentando o custo/benefício.

A antena rádio permite o acesso fácil a informações de facturação, sem a necessidade de fisicamente ler o visor do medidor, consumos e pressões.

Soluções deste tipo constituem o futuro, permitindo um controlo rigoroso das perdas e da situação do serviço prestado ao cliente em tempo real



Fig.F.1 – Contador *AquaMaster Electromagnetic Flowmeter* (<http://www.abb.pt/ProductGuide/> 7/06/10)

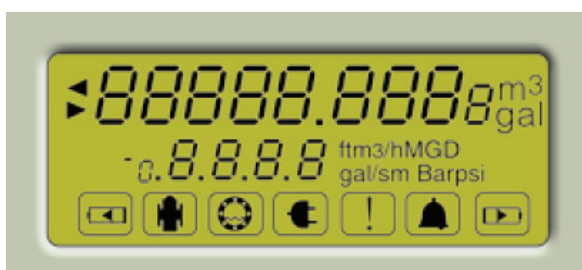


Fig.F.2 – *Display* do Contador *AquaMaster Electromagnetic Flowmeter* (<http://www.abb.pt/ProductGuide/> 7/06/10)



## ANEXO G – Apresentação exemplificativa do software Arcgis® e extensão Infrasisig Mobile

*ArcGIS® Mobile* é uma plataforma que possibilita as empresas fornecerem serviços de dados SIG em tempo real. A informação é obtida através de redes sem fio, suportando uma vasta gama de dispositivos móveis por exemplo telemóveis, *PDA/smartphone* e *tabletpc* (suporta sistema operativo *Windows Mobile®*).



Fig.G.1 – Exemplo de um *PDA/SmartPhone* com *ArcGIS® Mobile* (<http://www.esri.com/arcgismobile> 5/06/10)



Fig.G.2 – Funcionamento em tempo real do sistema integrado (<http://www.esri.com/arcgismobile> 5/06/10)

Este *software* pode ser adaptado especificamente para empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água, adicionando-lhe a extensão *Infrasisig Mobile*, ajudando-a a melhorar a capacidade de resposta na:

- Gestão de ocorrências;
- Satisfação do Cliente;
- Manutenção da sua RAA;
- Qualidade da água fornecida e do serviço;
- Redução activa de perdas.

Os objectivos deste sistema, dos quais a EG tem a beneficiar são:

- Evitar duplicação de trabalho (gabinete/terreno);
- Conhecimento mais sustentado da realidade;
- Aumento da produtividade;
- Melhorar a acuidade das bases de dados e torná-las mais dinâmicas e com períodos de actualização reduzidos.



Os benefícios do uso no terreno de um sistema integrado deste tipo serão apresentados no Quadro G.1.

Quadro G.1 – Benefícios da implementação de um sistema informático integrado

Gestão de activos	– Conhecimento da infra-estrutura existente
Programas de reabilitação	– Inspeções de rotina e de emergência, recolha sistemática de dados, associação de relatórios, imagens, vídeos
Operações de monitorização	– Qualidade da água (locais de amostragem)
	– Controlo de descargas de águas residuais (pontos de descarga)
Operações de manutenção/reparação/limpeza	– Localização, caracterização e acompanhamento dos trabalhos do/a incidente/ocorrência

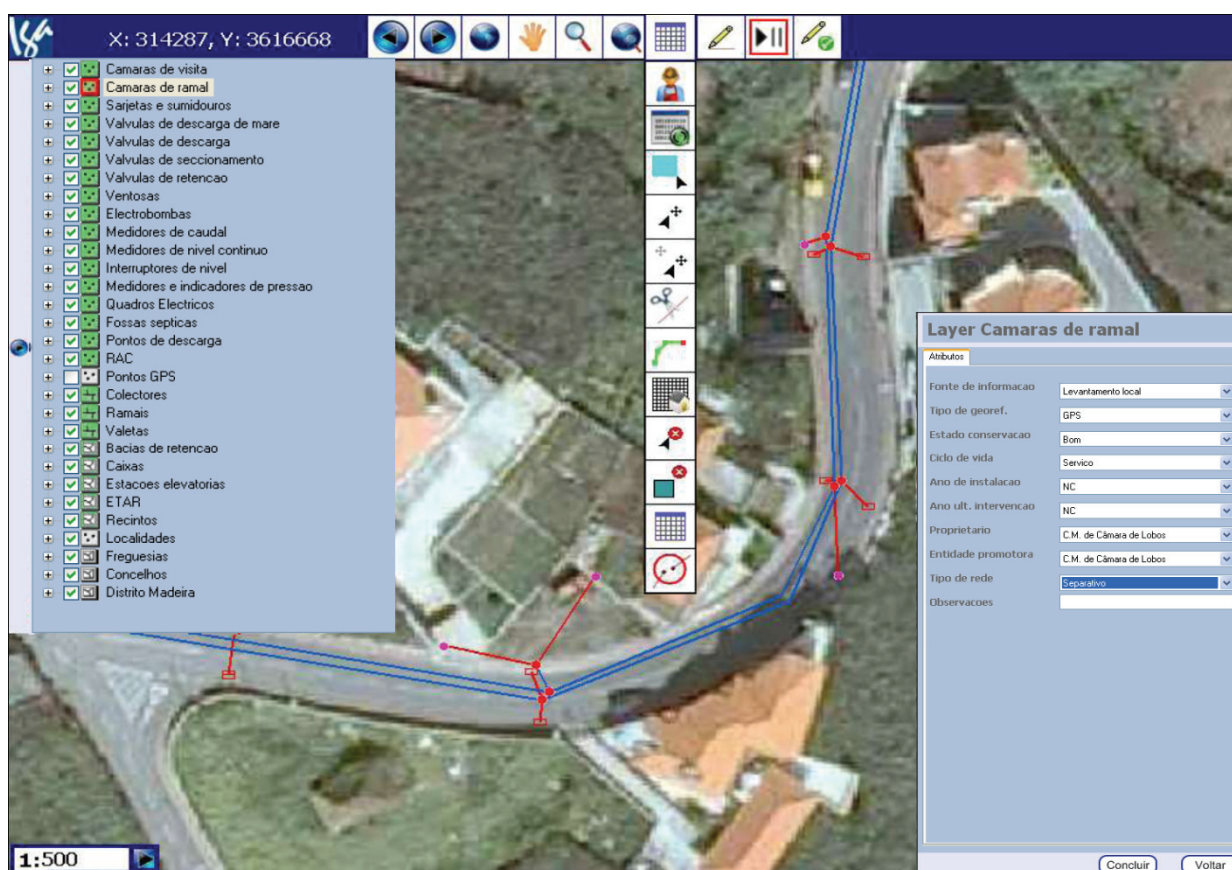


Fig.G.3 – Exemplo de actualização cadastral em tempo real (IGA redes <http://www.esri.com/arcgismobile> 5/06/10)

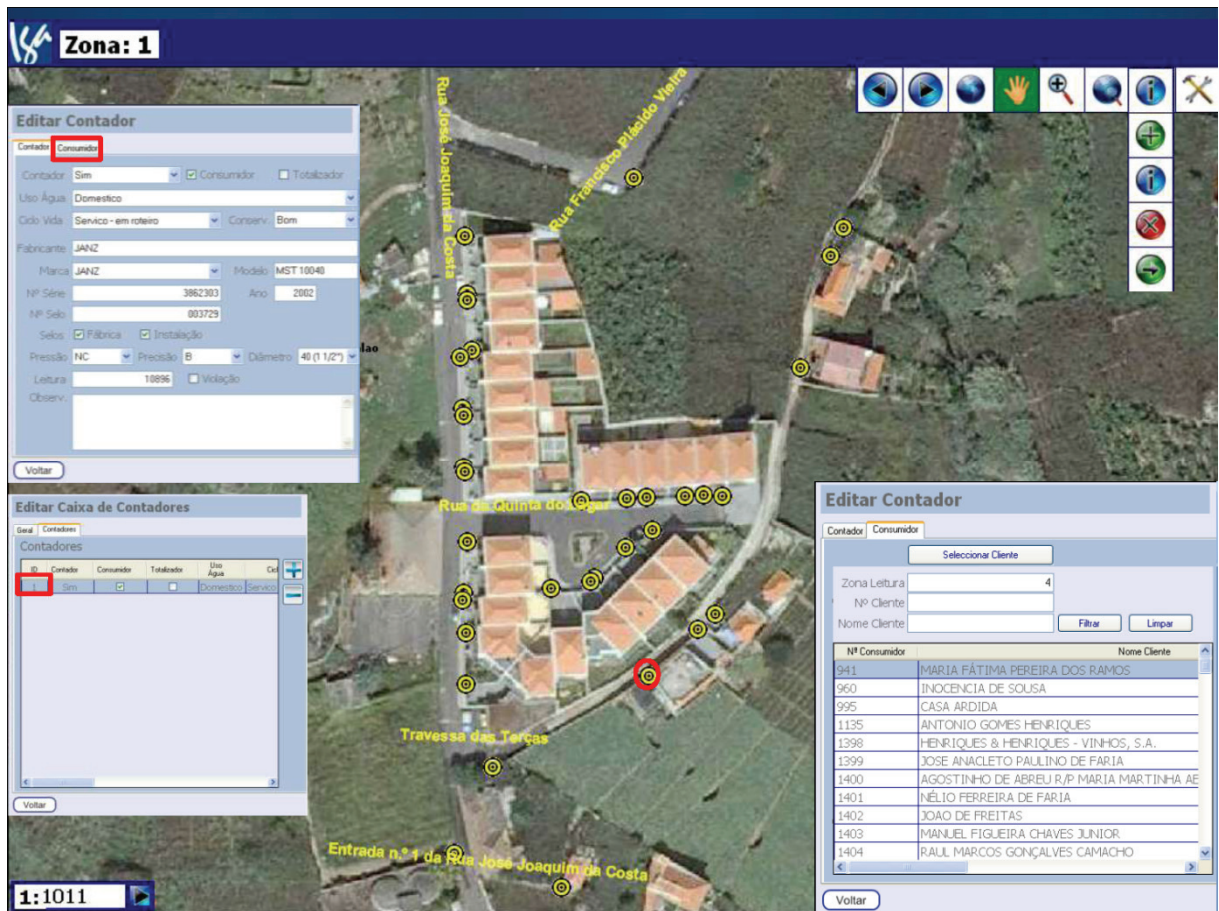


Fig.G.4 – Exemplo de actualização de informação de clientes em tempo real (IGA contadores  
<http://www.esri.com/arcgismobile> 5/06/10)

O programa vem acompanhado de formulários de descrição adaptados a cada elemento permitindo a caracterização por listas de valores, preenchimento automático de atributos (cruzamento espacial), associação de fotografias e implementação de regras de negócio (topologias e conectividade entre os elementos).

Em conclusão este tipo de solução informatizada permite optimização de recursos humanos, minimização de custos, conhecimento actualizado e sustentado das infra-estruturas, cadastro sempre acessível em todos os ambientes, aumento do nível da qualidade do serviço prestado ao cliente e permite tomada de decisões, pelas ER, em tempo real fundamentadas.



## ANEXO H – Apresentação do modelo Strategic Valve Management Model (SVMM)

Parte integrante de um projecto da *American Water Works Association Research Foundation* (AWWARF), o SVMM foi desenvolvido para fornecer às empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água uma ferramenta para suporte de formulação de programas de manutenção de válvulas e expansão sustentada do sistema. O *software* é usado para identificar as Secções da RAA e o impacto de falhas, das condutas e válvulas, no sistema. O impacto é medido em número de clientes sem de serviço. Para além dos consumidores localizados na Secção isolada é possível considerar as falhas hidráulicas, nomeadamente baixas pressões causadas pelo isolamento. Este simula as condições hidráulicas com auxílio do *toolkit* do *software* EPANET fornecido pela *Environmental Protection Agency* (EPA). Sete indicadores de desempenho que representam a configuração global das válvulas na rede de abastecimento de água são calculados.

Quando o SVMM é iniciado é apresentado um menu com uma série de opções. As opções são: *File* (ficheiro), *Matrices* (matrizes), *Find Segment* (encontrar Secções), *Simulation* (simulação), *Hydraulic Analysis* (análise hidráulica), *Performance Indicators* (indicadores de desempenho) e *Shape File* (ficheiros SIG). O menu geral é apresentado na Fig.H.1

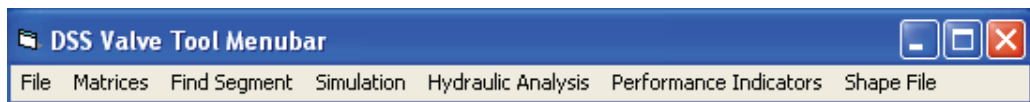
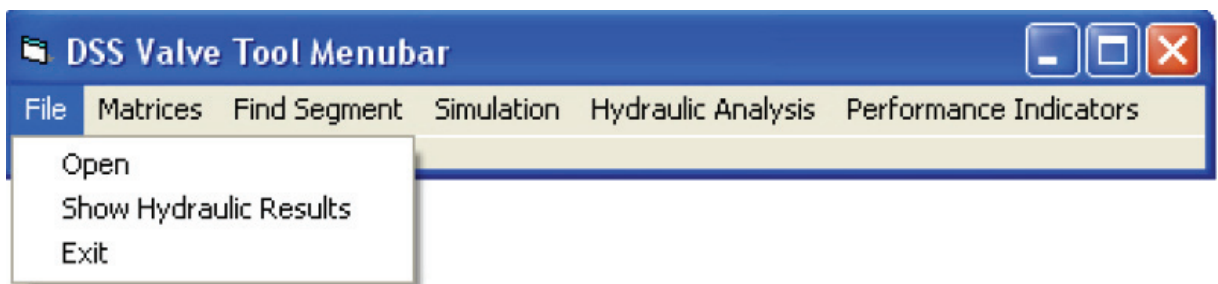


Fig.H.1 – Menu geral do SVMM

No Quando H.1 apresentar-se-á as funcionalidades do modelo usadas no Capítulo 6.

Quadro H.1 – Funcionalidades do SVMM



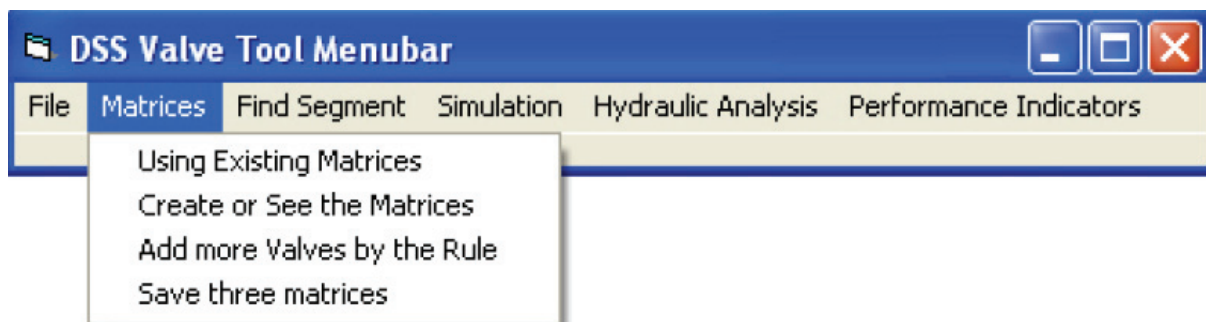
*Open*

Permite abrir um ficheiro INP do *EPANET*, adquirindo os dados da estrutura da RAA. A seguir é pedido a afectação de clientes por nó e conduta.

*Show Hydraulic results*

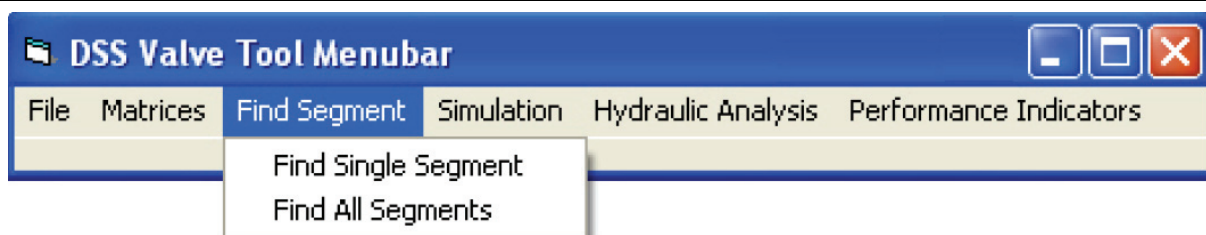
Os resultados do cálculo hidráulico são apresentados.

Quadro H.1 – Funcionalidades do SVMM (continuação)



*Matrices*

A configuração de válvulas na RAA é adicionada ao ficheiro anterior através de uma matriz com as condutas nas linhas e os Nós nas colunas. Uma conduta terá um “1” no nó que tiver válvula e “0” onde não tiver válvula. Este menu permite gerar e manusear essas matrizes sendo que o programa usa três: A – matriz das condutas e Nós; B- matriz das válvulas; C = B – A – matriz de carência de válvulas (locais onde não há válvulas).

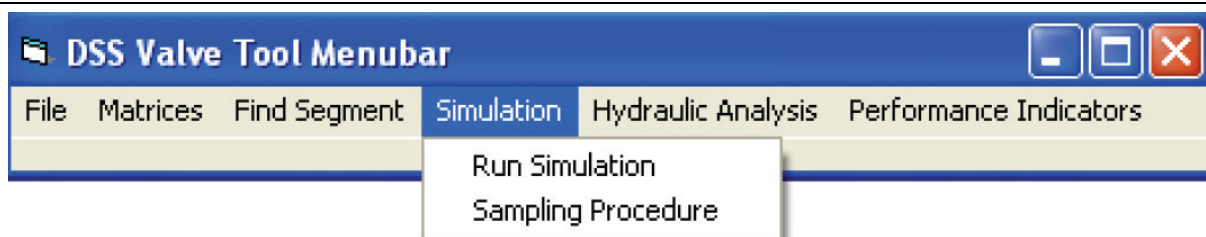


*Find single segment*

Esta opção permite seleccionar as condutas uma a uma e visualizar os clientes que a cada uma afecta, considerando a fiabilidade das válvulas 100%.

*Find all segments*

Esta opção permite dividir a RAA nas suas Secções isoláveis considerando a fiabilidade das válvulas 100% e estando implícita a verificação das pressões mínimas e máximos de toda a RAA ficando o resultado armazenado em ficheiro *Excel*.

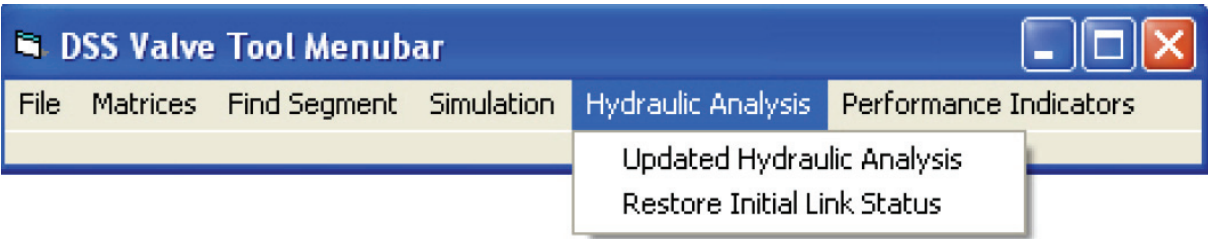
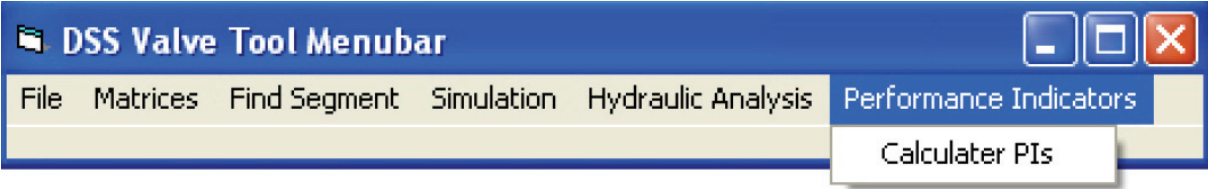


*Run simulation*

Apenas se usou esta opção, que permite fazer as simulações de rotura em todas as condutas da RAA, podendo-se variar o número de roturas desejadas e a fiabilidade das válvulas, tendo-se usado fiabilidade das válvulas de 95% e 50% e trinta e cinco roturas.



Quadro H.1 – Funcionalidades do SVMM (continuação)

	<p><i>Hydraulic Analysis</i></p> <p>Esta funcionalidade efectua o cálculo hidráulico da RAA com todas as condutas a permitirem a passagem de caudal ou com condutas isoladas, permitindo verificar as variações de pressões.</p>
	<p><i>Calclater PIs</i></p> <p>Este módulo permite calcular os indicadores descritores da RAA explicados no subcapítulo 3.4.</p>

Modelos deste tipo são de grande utilidade quando bem implementados no dia-a-dia da actividade da EG do SAA.

Não houve tempo suficiente para explorar o potencial máximo do modelo e ainda este é programável, daí que num estudo mais aprofundado este poderá ser adaptado à realidade da empresa utilizadora.



## **ANEXO I – Procedimentos para a concepção de redes de abastecimento água (Águas do Sado e conteúdos da unidade curricular - Hidráulica urbana e ambiental FEUP)**

### **1. Recomendações para a elaboração do projecto de redes de abastecimento água**

#### **1.1. Constituição**

Entende-se por redes públicas, as redes de abastecimento água e de drenagem de águas residuais que são executadas na via pública ou em terrenos alvo de operações de loteamento e cuja exploração é da responsabilidade da EG.

Os projectos das redes de abastecimento água devem ser elaborados por técnicos habilitados. A organização e apresentação dos projectos devem estar de acordo com a regulamentação geral em vigor e incluir no mínimo os seguintes elementos:

Peças escritas:

- Memória descritiva e justificativa da solução projectada com a caracterização da urbanização a servir (nº de fogos, tipo de ocupação e população prevista) e os cálculos referentes ao dimensionamento hidráulico da RAA para a situação de consumo normal e de incêndio, onde devem estar expressos os caudais a servir, velocidades de escoamento, pressões de serviço, bem como os critérios de dimensionamento adoptados;
- Especificações técnicas mais relevantes, nomeadamente as relativas à natureza dos materiais a aplicar e às principais disposições construtivas que devem reger a execução da obra;
- Mapa de medições e orçamento, referentes aos trabalhos projectados.

Peças desenhadas:

- Planta de localização do empreendimento;
- Planta de cadastro da RAA na área a servir;
- Planta de implantação onde conste o traçado da RAA com as válvulas de seccionamento representadas e outros acessórios necessários à boa execução da rede, com os Nós de cálculo numerados, de modo a que seja possível validar as plantas com o dimensionamento hidráulico;
- Perfis longitudinais das condutas de distribuição (apenas aplicável quando a extensão e as condições topográficas de implantação da conduta o justifiquem);
- Mapa de Nós, onde devem ser caracterizados todos os acessórios que constituem os Nós previstos na RAA;
- Pormenores construtivos considerados necessários a uma boa execução da obra.

#### **1.2. Concepção geral**

O projecto de uma RAA deve procurar dotar as áreas a servir de infra-estruturas de distribuição de água que permitam garantir o fornecimento de água potável de qualidade durante todo o ano, com um nível de serviço adequado. Salientam-se, seguidamente, alguns aspectos específicos que devem ser tidos em conta na sua elaboração.

Instalações especiais:

De um modo geral, as instalações especiais como reservatórios centrais hidropressoras, EE e válvulas de controlo hidráulico (pressão e caudal) devem ser evitadas. Caso se verifique ser estritamente necessário, as soluções técnicas a implementar devem ser desenvolvidas com o acompanhamento da EG.

Regimes de condomínio:



No que respeita a condomínios, independentemente de ser residencial ou não, funcionando em regime aberto ou fechado, é sempre prevista a instalação de contadores individuais para os fogos e/ou fracções independentes, uma vez que os respectivos proprietários ou usufrutuários celebrarão contrato de fornecimento directamente com a EG.

- Condomínios em regime aberto

Os empreendimentos que funcionem em regime de condomínio aberto, correspondem às situações em que os acessos pedonais e de viaturas, se efectuem directamente pela via pública. A concepção de abastecimento para estes prédios é a usual, prevendo-se um ramal de ligação para cada prédio e a instalação de contadores de acordo com o definido nas regras para redes prediais. Sempre que tecnicamente viável, deve ser prevista a instalação de uma bateria de contadores, no muro exterior, confinante com o arruamento e com acesso pelo exterior.

- Condomínios em regime fechado

Um empreendimento funciona em regime de condomínio fechado, quando a(s) via(s) de acesso às suas entradas principais, se encontram em propriedade privada. Deste modo, os respectivos arruamentos não são públicos, e como tal, a RAA não é propriedade pública, embora a EG efectue a análise e aprovação do projecto da mesma. Estes empreendimentos devem ser dotados de um contador totalizador, o qual efectua a medição de toda a água fornecida ao empreendimento. A localização e instalação do contador totalizador deve respeitar as seguintes regras:

- Todo o fornecimento de água ao empreendimento, deve ser sujeito a medição, incluindo a rede de incêndio;
- O local de instalação deve ser no limite da propriedade privada e junto ao ponto de ligação;
- A caixa para a sua instalação deverá ser efectuada de acordo com o respectivo calibre;
- A existência desta unidade de contagem, não invalida a instalação de contadores individualizados para todos os locais de consumo, a qual é obrigatória.

Redes de rega:

Os sistemas de abastecimento destinados a redes de rega devem ser funcionais, económicos e permitirem a respectiva manutenção. A concepção destes sistemas deve ter em conta o seguinte:

- À semelhança de todos os sistemas prediais de abastecimento de água, o local previsto para o contador deve encontrar-se o mais próximo possível da rede geral de abastecimento;
- No início da rede de rega e a jusante do contador, deve ser colocada uma válvula de retenção;
- As redes de rega apenas podem abastecer dispositivos destinados a rega, não sendo permitida a inserção de dispositivos destinados a consumo humano, devendo por isso possuir ramal de ligação próprio;
- Quando os espaços abrangidos pela rede de rega apresentarem áreas significativas, estas devem ser divididas em sectores, de forma a não se verificar o funcionamento simultâneo de todos os dispositivos;
- A selecção dos dispositivos de rega deve ter em conta determinadas características, nomeadamente, no que respeita aos valores de pressão, os quais devem ser compatíveis com o valor de pressão existente na rede geral de abastecimento.

### 1.3. Dimensionamento

Após a fase de concepção, onde se define o traçado da RAA é necessário proceder ao seu dimensionamento hidráulico.

O dimensionamento das redes de abastecimento água para além de respeitar as prescrições de carácter técnico, deve seguir a metodologia de cálculo adequada.

Os cálculos justificativos relativos ao dimensionamento são componentes fundamentais dos projectos das redes prediais, sendo sempre obrigatória a sua apresentação. O projectista é responsável pelos valores neles apresentados e pela sua validade. No entanto, se forem detectadas irregularidades ou se os mesmos se encontrarem incompletos serão solicitados novos cálculos, aquando da sua apresentação.

No dimensionamento das redes de abastecimento água devem ser adoptados os critérios de dimensionamento que figuram na legislação nacional em vigor e nas normas nacionais e internacionais correntemente aceites, designadamente:

- Dimensionamento das condutas para o caudal de ponta;
- Diâmetro mínimo em condutas de distribuição igual a 110 mm a montante de marcos de água e de 63 mm a jusante, de forma a respeitar os critérios de segurança contra incêndio;
- Velocidade de escoamento em condutas de distribuição limitada pela velocidade máxima regulamentar;
- Pressão de serviço inferior a 600 kPa.
- Pressão de serviço da RAA ao nível do arruamento superior a  $100+40n$  (kPa), sendo  $n$  o número de pisos acima do solo (sempre que possível, não inferior a 300 kPa);
- Nas condutas inclinação mínima de 0.3% nos troços ascendentes e de 0.5% nos troços descendentes;
- Altura mínima de recobrimento, sem protecção da conduta, de 1.00 m nos arruamentos e de 0.80 m nos passeios e zonas pedonais.

#### 1.4. Disposições construtivas

##### Condutas:

O material das condutas a prever nas redes de abastecimento água deve ser o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), MRS 80/100, classe de pressão PN 10, ou superior, caso a pressão de serviço assim o justifique. As condutas devem estar preparadas para resistir a todas as cargas estáticas e dinâmicas. Para atravessamentos de faixas de rodagem e zonas de tráfego de veículos pesados aconselha-se o FFD.

##### Acessórios:

O material dos acessórios a prever na RAA (curvas, cones de redução, cruzetas, juntas cegas e tês) deve ser o PEAD, injectado e de classe de pressão idêntica à da conduta. As ligações entre condutas e acessórios devem ser realizadas, sempre que possível, por electrofusão ou termofusão. Para garantir a estabilidade dos acessórios (curvas, tês, cruzetas, cones de redução e juntas cegas) e das condutas devem ser projectados maciços de amarração em betão.

##### Válvulas de seccionamento:

Para diâmetros inferiores a 250 mm, deve ser prevista a instalação enterrada de válvulas de cunha elástica, em FFD, classe de pressão PN 10 ou superior, flangeadas, revestidas a elastómero e com conjunto de manobra telescópico/fixo e cabeça móvel. Devem ser do tipo passagem integral, a fim de se evitar os riscos da criação de obstruções ao escoamento, sendo o fecho no sentido directo (movimento dos ponteiros do relógio). As válvulas a instalar são do tipo Saint-Gobain, modelo EURO 20 a 23 ou equivalente. Para diâmetros iguais ou superiores a 250 mm, as válvulas de seccionamento a instalar são de borboleta de comando manual, em FFD, flangeadas, revestidas a elastómero. Devem ser do tipo concêntrico, de câmara recta e lisa, e devem ser instaladas de modo a que o veio do

obturador fique na posição horizontal. As válvulas devem ser do tipo Saint-Gobain, modelo EUROSTOP ou equivalente. De forma a facilitar as operações de manutenção, estas válvulas devem ser instaladas em câmaras de visita próprias para o efeito.

Válvulas de descarga:

As válvulas de descarga destinam-se a permitir o esvaziamento das condutas, por escoamento gravítico em caso de reparação de avarias, execução de novas ligações e para operações de limpeza e desinfecção. Genericamente, as válvulas de descarga ou de purga devem ser localizadas nos pontos baixos das zonas da RAA isoláveis por válvulas de seccionamento. As válvulas a instalar devem ser do tipo cunha elástica, com diâmetro não inferior a 1/3 da conduta onde é instalada, classe de pressão PN 10 ou superior, do tipo Saint-Gobain modelo EURO 20 - 23 ou equivalente.

Ventosas:

Não é usual a utilização de ventosas em redes de abastecimento água, excepto em condutas sem clientes no seu percurso e em pontos extremos de condutas periféricas ascendentes. Quando necessário, as ventosas a instalar devem ser de duplo efeito, automáticas permitindo a evacuação de ar durante o enchimento da conduta e a admissão de ar durante o esvaziamento da conduta, evitando que esta entre em depressão. Devem ser do tipo SEGEV ou equivalente.

Marcos de água:

A instalação de marcos de água em redes de abastecimento água tem como função garantir os caudais previstos para combate a incêndios. Os marcos de água a prever devem ser do tipo derrubável, em FFD, modelo Saint-Gobain - C9 PLUS SUL STORZ ou equivalente. A sua instalação deve contemplar uma válvula de seccionamento a montante e esse de regulação em altura.

Câmaras de visita:

As câmaras de visita a aplicar são do tipo circular com anéis, cúpula e fundo pré-fabricados em betão e tampa circular metálica. As juntas das peças pré-fabricadas são executadas de forma a garantir a estanqueidade total da câmara. Todas as câmaras devem ser acessíveis, ter degraus em aço revestidos a PVC, afastados de 0.30 m e com a largura mínima de 0.30 m. As tampas das câmaras de visita devem ser em FFD, com uma abertura útil de 0.60 m, classe D400 (NP EN 1024), com o respectivo logótipo da EG e a inscrição ÁGUAS. Complementarmente, devem dispor de travamento automático através de uma barra elástica em FFD, articulação, junta de insonorização em polietileno e perfuração central para levantamento. As superfícies exteriores da câmara em contacto com o terreno devem ser pintadas com um produto impermeabilizante apropriado aplicado de acordo com as indicações do fabricante.

## 2. Execução de redes de abastecimento água

### 2.1. Equipamentos de soldadura

É obrigatória a certificação de todos os equipamentos de soldadura a utilizar na obra. A certificação deve estar em dia e ser entregue respectivo documento de certificação à fiscalização.

### 2.2. Ensaios de estanqueidade

É obrigatória a realização de ensaios às redes de abastecimento água. Os ensaios são realizados à totalidade da obra ou partes da obra. Para a RAA, quando se verifique ensaios parciais, deve no final existir um ensaio final à totalidade da rede construída. É obrigatório a elaboração de um relatório dos ensaios efectuados que deve ser assinado pelo técnico responsável pela obra e pela fiscalização da EG.

### 2.3. Ensaios de pressão

As redes de abastecimento água são sujeitas a ensaio de pressão segundo a norma europeia UNEEN 805, de Dezembro de 2000. O ensaio da RAA só pode ser realizado com água da rede, não sendo por questões de qualidade da água para consumo humano aceite qualquer outro tipo origem. Para este efeito deve existir ramal de água provisório para obras.

#### 2.4. Lavagem e desinfecção

A desinfecção da RAA é obrigatória. Esta desinfecção é efectuada após a realização do ensaio e antecipadamente à ligação à rede. A realização e responsabilidade da desinfecção da RAA são do requerente ou construtor. A realização da desinfecção é acompanhada pela fiscalização da EG.

#### 2.5. Ligação

Após a conclusão de todos os procedimentos anteriormente descritos estão criadas as condições para se efectuar a ligação das redes de abastecimento água construídas no âmbito da operação de loteamento às redes gerais. A ligação à RAA é executada por pessoal da EG.

### 3. Instalação das condutas

O Decreto Regulamentar nº 23/95 estabelece, no Artº 24º, que a implantação das condutas da RAA em arruamentos deve fazer-se em articulação com as restantes infra-estruturas, sempre que possível fora das faixas de rodagem, devendo instalar-se dos dois lados dos arruamentos a uma distância não inferior a 0.80 m dos limites das propriedades. No mesmo artigo, admite-se ainda a possibilidade de implantação de uma única conduta quando as condições técnico-económicas o aconselhem. Em cada situação, há que considerar o aspecto económico de execução das ligações aos edifícios, tendo em conta a intensidade do tráfego do arruamento, a natureza dos terrenos a escavar e o custo dos pavimentos. As condutas da RAA devem ser instaladas a distâncias mínimas de 0.50 m de condutas de gás, de 0.20 m relativamente a cabos eléctricos e sempre a cota superior à dos colectores de águas residuais e a mais de 1 m de distância destes, devendo ser adoptadas protecções especiais em caso de impossibilidade de cumprimento destas disposições.

#### 3.1. Abertura de Valas

No assentamento em valas há que respeitar as profundidades e larguras mínimas recomendáveis, prever o envolvimento da conduta por solos de características apropriadas e avaliar a resistência da conduta à acção das cargas rolantes e das terras sobrejacentes. O Decreto-Regulamentar 23/95 – Artigos 24º e seguintes, prescreve, para a instalação de tubos no subsolo das faixas de rodagem de vias de trânsito, profundidades mínimas de respectivamente, 0.80 m e 1.00 m, medidas entre o pavimento e a geratriz superior de tubos, respectivamente para condutas de água e para os colectores de águas residuais. A adopção do recobrimento mínimo de 1 m está também generalizada aos traçados fora das vias de trânsito de modo a permitir amanho das terras nos trabalhos agrícolas correntes. Contudo, em terrenos rochosos, não cultiváveis, e em ruas estreitas de zonas urbanas antigas, que não permitam o trânsito de veículos com volume significativo, poderá adoptar-se uma menor profundidade com vista a facilitar a execução das obras, tomando as mais económicas e desde que sejam convenientemente protegidas mecânica, térmica e sanitariamente. A profundidade máxima não deverá exceder 2.5 a 3 m salvo em casos especiais a justificar convenientemente. As larguras fixadas para as valas são função dos diâmetros dos tubos e das profundidades, entendendo-se que uma folga inferior a cerca de 0.25 m para cada lado da conduta dificulta o seu assentamento e que o trabalho em valas de profundidade superior a cerca de 2 m exige um aumento da respectiva largura, tanto maior quanto maior for a profundidade. O Regulamento acima citado sugere, para profundidades até 3 m, uma largura mínima das valas para assentamento de condutas definida por:

$$L = D_e + 0.5 \quad (D_e < 0.5 \text{ m}) \quad (35)$$

$$L = D_e + 0.7 \quad (D_e > 0.5 \text{ m}) \quad (36)$$

Em que: L = largura da vala (m)

$D_e$  = diâmetro exterior da conduta (m).

Para profundidades superiores a 3 m refere a eventual necessidade de aumento destes valores mínimos em função do tipo de terreno, processo de escavação e nível freático. Quando existem pavimentos a levantar, deverá considerar-se uma faixa de remoção de pavimento um pouco mais larga do que a vala a que diz respeito (cerca de 0.20 a 0.25 m, no mínimo, para cada lado). Após a abertura da vala, deverá proceder-se à regularização do fundo, removendo as maiores saliências quando o terreno é de natureza rochosa e preenchendo, com uma camada de betão, bolsas de lodos ou argilas que eventualmente surjam. Dispõe-se, então, no fundo da vala uma camada de areia com uma espessura de 0.10 m a 0.15 m de espessura de areia, gravilha ou material similar (cuja maior dimensão não exceda 20 mm). A conduta é assente sobre esta camada de areia, cuja espessura é aumentada de modo a envolver completamente a conduta até uma altura acima da geratriz superior igual à altura da primeira camada sobre a qual fica apoiada a conduta. O preenchimento da parte superior da vala acima do extradorso das condutas é realizado com os produtos da escavação, colocados por camadas, cujas espessuras não deverão exceder 0.15 m a 0.30 m, devidamente compactadas de modo a que não venham a verificar-se assentamentos de terras e não danificar as condutas. Após o enchimento da vala, procede-se à reposição do pavimento nas condições primitivas.

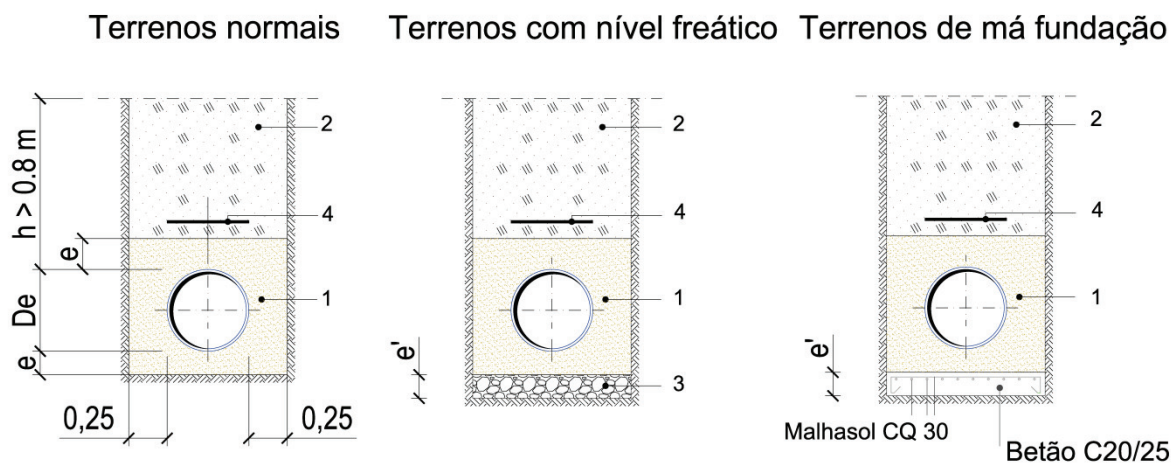


Fig.I.1 – Tipo de valas usadas na execução de redes de abastecimento água

Legenda da Fig.I.1:

Terreno Normal:

- $DN \leq 315 \text{ mm}$   $e = 0.10 \text{ m}$
- $DN > 315 \text{ mm}$   $e = 0.10 \text{ m} + DN/10$

Outros tipos de terrenos:

- $DN \leq 315 \text{ mm}$   $e' = 0.15 \text{ m}$

- $DN > 315 \text{ mm e}' = 0.15 \text{ m} + DN/10$
- 1. Aterro da vala com terra cirandada ou areão para almofada de assentamento e camada de protecção;
- 2. Restante aterro da vala com terras escolhidas resultantes dos produtos de escavação e compactado em camadas de 20 cm por processos manuais ou mecânicos, incluindo terras de empréstimo se necessário;
- 3. Brita bem compactada envolvida em geotêxtil;
- 4. Tela de sinalização azul

### 3.2. Movimentos de Terras

Na execução das escavações respeitar-se-ão as disposições do Regulamento de Segurança no Trabalho da Construção Civil (Decreto de Lei n.º 41/821). Consideram-se escavações a seco as que são executadas sob uma camada de água inferior a 10 cm e, escavação debaixo de água as que são executadas sob uma camada de água superior a 10 cm. Se durante a execução das escavações, for necessário intersectar sistemas de esgoto, canalizações enterradas (água, gás, electricidade, etc.), maciços de fundação ou obras de qualquer natureza, deverá adoptar-se todas as disposições necessárias para manter o funcionamento e proteger os referidos sistemas ou obras, ou ainda removê-los, restabelecendo ou não o seu traçado. A entivação e o escoramento das escavações serão estabelecidos de modo a impedir movimentos de terreno e a evitar acidentes às pessoas que circulam na escavação ou na sua vizinhança. As escavações deverão ser executadas para que, após a compactação, quando necessária, sejam atingidas as dimensões e cotas indicadas no projecto de execução. Deverão tomar-se todas as precauções necessárias para que o terreno, sob e para além dos limites de escavação, seja mantido nas melhores condições. Sempre que se empreguem meios mecânicos de escavação a extracção de terras será interrompida antes de se atingir a posição prevista para o fundo e para as superfícies laterais, de forma a evitar o remeximento do terreno pelas garras das máquinas. O acabamento da escavação será efectuado manualmente ou por qualquer outro processo que não apresente aquele inconveniente. O fundo e os taludes laterais que limitam o volume escavado e sobre ou contra os quais seja colocado o betão ou a camada de drenagem deverão ser acabados com tolerância de 10 cm, em relação aos limites no projecto. Nas escavações para ensoleiramento geral, os materiais encontrados no fundo e susceptíveis de constituírem pontos de maior rigidez, tais como afloramentos de rochas e fundações, deverão ser removidos. As bolsas de natureza mais compressível existentes no fundo da escavação deverão ser substituídas por material de compressibilidade análoga à do restante terreno, de modo a obter-se um fundo de compressibilidade uniforme, à cota fixada do projecto. Os materiais a empregar nos aterros não devem conter detritos orgânicos, terras vegetais, entulhos heterogêneos, lodos, turfas ou terras de elevada compressibilidade. Quando forem utilizados produtos de escavação de rocha ou detritos de pedra, estes materiais serão devidamente arrumados na base dos aterros de maior altura, ficando os seus vazios preenchidos por elementos mais finos, de modo a obter-se uma camada compacta. A região superficial envolvente do núcleo do aterro deverá ser constituída por materiais bem graduados, espalhados e compactados de modo a preencher os vazios do núcleo. A dimensão máxima dos materiais utilizados nos aterros não deverá exceder metade da espessura da respectiva camada. O grau de compactação exigido em toda a espessura das camadas não deverá ser inferior a 95% de baridade seca máxima, correspondente à obtida nos ensaios normalizados da compactação pesada, ou 80% de densidade relativa, no caso de areias.

### 3.3. Reposição de Pavimento

A reposição definitiva do pavimento deverá ser feita depois do aterro ter adquirido suficiente consolidação. Sempre que a EG o entenda deverá ser feita pavimentação provisória.

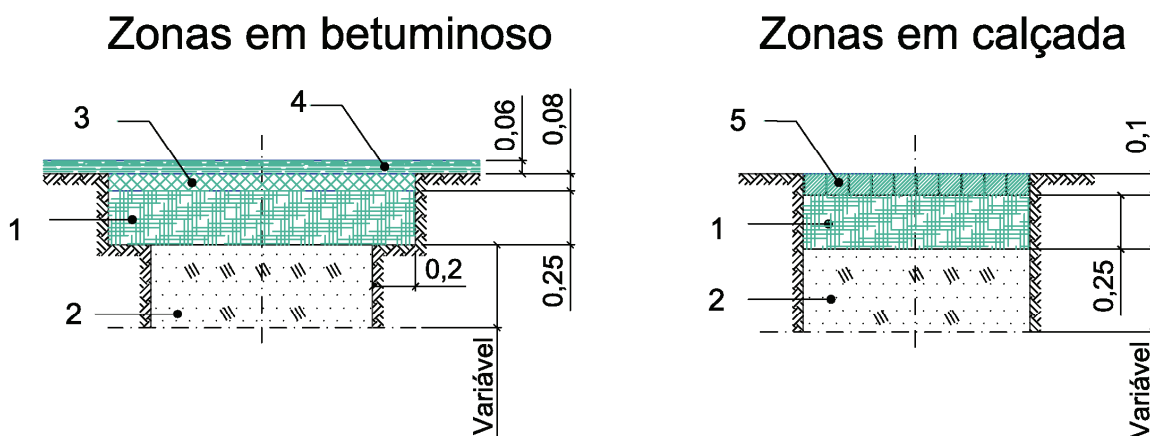


Fig.I.2 – Reposições de pavimentos

Legenda da Fig.I.2:

1. Tout-venant;
2. Restante aterro da vala com terras escolhidas resultantes dos produtos de escavação e compactado em camadas de 20 cm por processos manuais ou mecânicos;
3. Camada resistente em “BINDER”;
4. Camada de desgaste em betão betuminoso;
5. Calçada em cubos

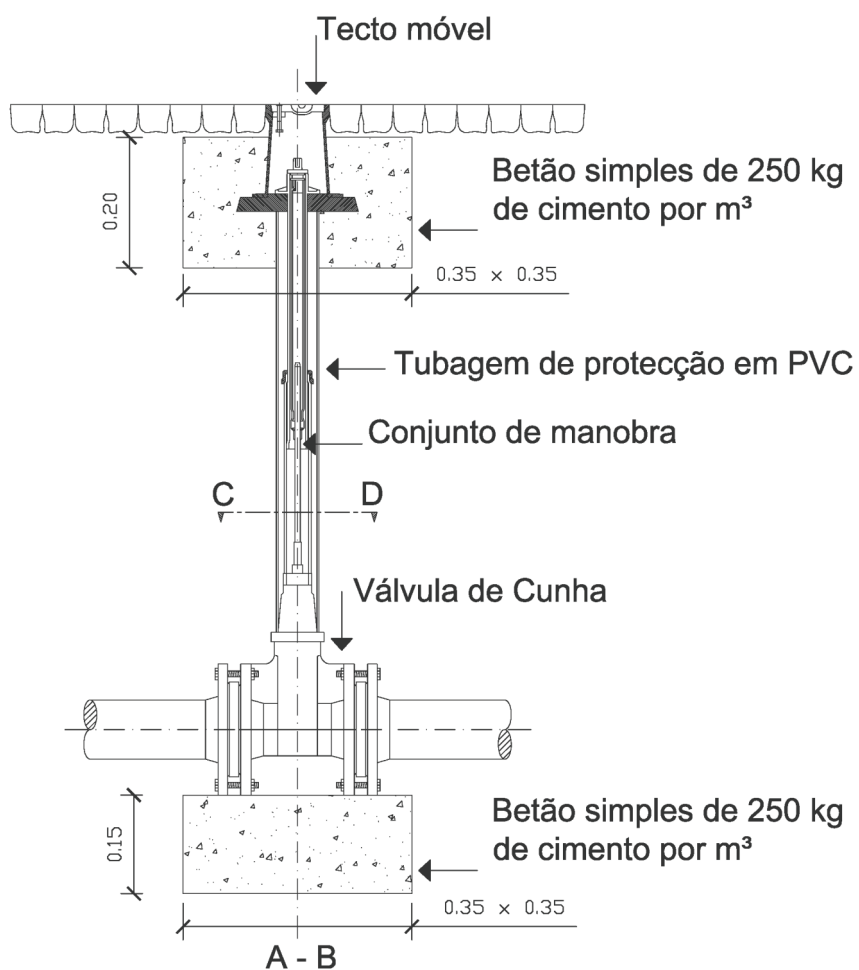


Fig.I.3 – Perfil de implantação tipo de uma válvula de seccionamento

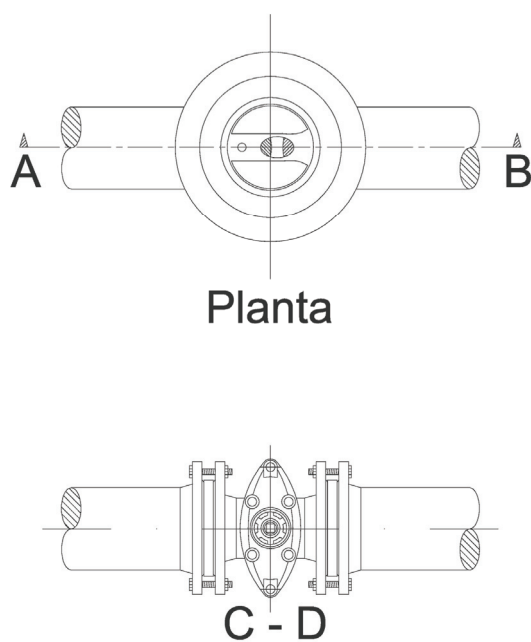


Fig.I.3.1 – Perfil de implantação tipo de uma válvula de seccionamento (cortes)



